



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑲ Aktenzeichen: 197 43 236.0  
⑳ Anmeldetag: 30. 9. 97  
㉓ Offenlegungstag: 2. 4. 98

DE 197 43 236 A 1

③① Unionspriorität:

724167 30.09.96 US

⑦① Anmelder:

Nikon Corp., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:

Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

⑦② Erfinder:

Matsuyama, Tomoyuki, Foster City, Calif., US

⑤④ Projektionsbelichtungsverfahren und Vorrichtung dafür

⑤⑦ Projektionsbelichtungsverfahren und Vorrichtung dafür zum Übertragen eines auf einer optischen Platte oder einer Maske ausgebildeten Musters auf ein Substrat, das ein optisches Projektionssystem aufweist, mit dem es möglich ist, die unter idealen Bedingungen erzielte Leistung aufrechtzuerhalten, selbst wenn die Bedingungen bei dem tatsächlichen Einsatz (Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur) nicht ideal sind. Zusätzlich ist es mit dem optischen Projektionssystem mit relativ geringer Justierung des optischen Projektionssystems möglich, die gleiche Leistung wie die unter idealen Bedingungen erzielte Leistung zu erzielen, selbst wenn sich der Umgebungsdruck z. B. aufgrund einer Änderung des Ortes des Systems oder der Höhe, an dem das System verwendet wird, stark ändert.

DE 197 43 236 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Übertragen eines auf einer Maske oder einer optischen Platte ausgebildeten Musters auf ein Substrat, wie ein Halbleiter-Wafer oder eine Glasplatte. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Projektionsbelichtungsverfahren und eine Vorrichtung dafür, die ein optisches Projektionssystem verwenden, um auf einer Maske oder einer optischen Platte ausgebildete Muster auf eine andere Oberfläche z. B. eines Halbleiter-Wafers oder einer Glasplatte zu übertragen, wobei die Eigenschaften des optischen Projektionssystems, selbst wenn die tatsächliche Umgebung (z. B. Druck und Temperatur), in der die Vorrichtung verwendet wird, nicht ideal ist, derart sind, als ob sich die Vorrichtung in einer idealen Umgebung befinden würde.

Da integrierte Schaltkreise (ICs: integrated circuits) immer kleiner und immer höher entwickelt sind, sind Projektionsbelichtungsvorrichtungen zum Übertragen von Schaltungsmustern auf Halbleiter-Wafer oder andere aufnahmefähige Substrate (z. B. Glasplatten usw.) erforderlich, mit denen immer höhere Auflösungen erzielt werden können. Insbesondere wurden in den letzten Jahren Systeme erforderlich, die nicht nur in einer idealen Umgebung zuverlässig arbeiten, sondern auch bei geänderten Umgebungsbedingungen.

Obwohl herkömmliche Projektionsbelichtungssysteme in einer idealen Umgebung zufriedenstellend arbeiten, arbeiten solche Systeme typischerweise nicht gut, wenn die Umgebungsbedingungen, wie Druck und Temperatur um das optische Projektionssystem in dem Projektionsbelichtungssystem herum sich geändert haben. Bei herkömmlichen Projektionsbelichtungssystemen werden Vergrößerungsfehler aufgrund eines veränderten Umgebungsdrucks durch eine Steuerung des Drucks des Mediums korrigiert, das die Spalte zwischen den optischen Bauelementen des optischen Projektionssystems ausfüllt. Diese Korrekturmaßnahme korrigiert jedoch lediglich die Abweichungen der Vergrößerung. Die Verschlechterung anderer Abbildungsparameter wird lediglich so weit verringert, daß die Verschlechterung bei der praktischen Anwendung der Vorrichtung nicht als problematisch angesehen wird, wobei der tatsächliche Anwendungsbereich der Vorrichtung durch den zugesicherten Betriebsdruckbereich definiert ist. Was Veränderungen aufgrund von Temperaturabweichungen angeht sind verschiedene Temperaturregelungsvorrichtungen bekannt, die verwendet werden, um die Temperatur eines optischen Projektionssystems zu steuern. Diese Vorrichtungen halten die Temperatur des Systems ausreichend nahe an der einer idealen Temperatur, so daß die von einem herkömmlichen System erwartete Leistung aufrechterhalten werden kann.

In den letzten Jahren jedoch entsprechen solche Verfahren zum Korrigieren von Druckschwankungen nicht mehr den Bedürfnissen der Verwender solcher Belichtungssysteme, wenn die o.g. kleineren und komplizierteren Schaltungsmuster hergestellt werden sollen. Die von den Halbleiterherstellern geforderten höheren Dichten erfordern höhere Auflösungen solcher Projektionsbelichtungssysteme. Dies wiederum erfordert eine Einengung des zugesicherten Betriebsdruckbereichs, um die von den Verwendern dieser Projektionsbelichtungssysteme geforderten, genauen Leistungsmerkmale zu erfüllen. Ferner haben jüngste Forderungen nach solchen Systemen mit einer höheren Auflösung und mit noch genaueren Leistungsmerkmalen ebenfalls zu einem Bedürfnis nach noch genaueren Temperaturregelungen für solche Systemen geführt.

Unterschiede des Umgebungsdrucks sind aufgrund von Höhenveränderungen usw. unvermeidbar. Dies liegt teilweise daran, daß der Herstellungsort eines optischen Projektionssystems und der Ort der Projektionsbelichtungsvorrichtung, in die das optische System eingebaut wird, nicht gleich sind. Herkömmlich wird ein optisches Projektionssystem am Herstellungsort justiert, bis es eine ideale Abbildungsleistung erreicht. Das optische System wird dann ferner an dem Ort der tatsächlichen Verwendung entsprechend den atmosphärischen Bedingungen, z. B. der Höhe, justiert, um am Verwendungsort die gleichen idealen Abbildungseigenschaften wie am Herstellungsort zu erzielen. Diese Justierung wird typischerweise z. B. durch Verändern der Luftspalte in dem optischen Projektionssystem oder durch Austausch eines Linsenelementes durch ein anderes durchgeführt, das eine leicht andere Krümmung aufweist, usw. Deshalb ist, wenn der Verwendungsort des optischen Projektionssystems verändert ist (z. B. unterschiedliche Höhe) eine wesentliche Rejustierung des optischen Projektionssystems erforderlich, was einen Auseinanderbau und einen Wiedezusammenbau des optischen Projektionssystems erfordert. Für die Temperaturregelung ist es erforderlich, die Umgebungstemperatur für jeden tatsächlichen Verwendungsort einzustellen, bevor das optische Projektionssystem hergestellt wird.

Dementsprechend besteht ein Bedarf an einem optischen Projektionssystem, das es ermöglicht, bei der Verwendung des Systems dessen einer idealen Umgebung entsprechenden Leistungsmerkmale aufrechtzuerhalten, selbst wenn die tatsächliche Verwendungsumgebung von der idealen Umgebung wesentlich abweicht. Ferner besteht ein Bedarf an einem optischen Projektionssystem, das an seine Verwendungsumgebung mit relativ wenig Justierung desselben anpaßbar ist.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung ein optisches Projektionssystem bereitzustellen, das selbst bei geänderten Umgebungsbedingungen die gleichen Leistungsmerkmale wie in einer idealen Umgebung (betreffend Druck und Temperatur) aufweist. Es ist ferner eine Aufgabe der Erfindung, ein optisches Projektionssystem bereitzustellen, das es ermöglicht, die gleichen Leistungsmerkmale wie in einer idealen Umgebung durch relativ wenig Justierung seines optischen Projektionssystems selbst bei geändertem Umgebungsdruck, z. B. aufgrund einer Änderung des Verwendungsortes und somit einer entsprechenden Änderung der Höhe, wiederzuerhalten.

Die oben genannten Aufgaben werden durch die erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsvorrichtung gelöst, mit der gemäß einem Gesichtspunkt der Erfindung vorbestimmte, auf einer optischen Platte ausgebildete Muster auf ein Substrat übertragen werden. Gemäß diesem Gesichtspunkt der Erfindung kann die erfindungsgemäße Projektionsbelichtungsvorrichtung ein optisches Beleuchtungssystem aufweisen, mit dem die optische Platte gleichmäßig mit Licht mit einer Wellenlänge  $\lambda$  beleuchtet ist. Ferner weist die Projektionsbelichtungsvorrichtung gemäß dieses Gesichtspunktes der Erfindung eine erste Halterung, die die optische Platte hält, und eine zweite Halterung auf, die das Substrat hält. Zwischen der optischen Platte und dem Substrat ist ein optisches

Projektionssystem angeordnet. Das optische Projektionssystem projiziert die Muster der optischen Platte mit einem Strahlbündel auf das Substrat, welches Strahlenbündel eine numerische Apertur von wenigstens 0,55 aufweist und das die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$|dSAp| < 0,3\lambda/(NA)^2$$

5

$$|dCOMAp| < 0,3x\lambda/(NA),$$

wobei

dSAp der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems um 30 mmHg geändert hat,

dCOMAp der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems sich um 30 mmHg geändert hat, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems ist.

Um die oben genannten Aufgaben zu lösen, wird gemäß einem Gesichtspunkt der Erfindung eine Projektionsbelichtungsanordnung bereitgestellt, mit der vorbestimmte, auf einer optischen Platte ausgebildete Muster auf ein Substrat übertragbar sind, und das ein optisches Beleuchtungssystem aufweist, mit dem die optische Platte gleichmäßig mit Licht mit einer Wellenlänge  $\lambda$  beleuchtbar ist. Ferner weist die Projektionsbelichtungsanordnung gemäß dieses Gesichtspunktes der Erfindung eine erste Halterung, die die optische Platte hält, und eine zweite Halterung auf, die das Substrat hält. Zwischen der optischen Platte und dem Substrat ist ein optisches Projektionssystem angeordnet. Das optische Projektionssystem projiziert die Muster der optischen Platte mit einem Strahlenbündel auf das Substrat, welches Strahlenbündel eine numerische Apertur von wenigstens 0,55 aufweist und das die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$|dsAt| < 0,3x\lambda/(NA)^2$$

$$|dCOMAt| < 0,3x\lambda/(NA)$$

$$|dMt| < 0,2x\lambda/(NA)^2$$

$$|dYt| < 0,05x\lambda/(NA),$$

wobei

dSAAt der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

dCOMAt der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

dMt der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

dYt der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems ist.

Gemäß einem anderen Gesichtspunkt der Erfindung wird mit einem optischen Projektionssystem ein Bild von einem ersten Objekt auf ein zweites Objekt projiziert, wobei das optische Projektionssystem in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objekts aufweist: eine erste Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine fünfte Linsengruppe mit positiver Brechkraft und eine in der fünften Linsengruppe angeordnete Blende. Bei dieser Ausführungsform weist die dritte Linsengruppe einen ersten Meniskus und einen zweiten Meniskus mit jeweils positiver Brechkraft, deren konkave Seite jeweils auf das erste Objekt ausgerichtet ist, und einen dritten Meniskus und einen vierten Meniskus mit jeweils positiver Brechkraft auf, deren konkave Seite jeweils auf das zweite Objekt ausgerichtet ist. Das in der dritten Linsengruppe den maximalen effektiven Durchmesser aufweisende Linsenelement ist zwischen dem ersten Meniskus und dem vierten Meniskus angeordnet.

Gemäß einem anderen Gesichtspunkt der Erfindung wird ein optisches Projektionssystem bereitgestellt, bei dem ein Bild von einem ersten Objekt auf ein zweites Objekt projizierbar ist, wobei das optische Projektionssystem in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes aufweist: eine erste Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe mit negativer Brechkraft, eine fünfte Linsengruppe mit positiver Brechkraft und eine in der fünften Linsengruppe angeordnete Blende. Gemäß diesem Gesichtspunkt der Erfindung weist die fünfte Linsengruppe eine erste Linsendoublette mit einem Luftspalt und eine zweite Linsendoublette mit einem Luftspalt auf, welche Linsendoubletten jeweils ein positives Linsenelement und ein negatives Linsenelement aufweisen, wobei die erste Linsendoublette mit einem Luftspalt und die zweite Linsendoublette mit einem Luftspalt auf der dem zweiten Objekt näheren Seite der Blende angeordnet sind, und wenigstens ein Linsenelement aus der ersten Linsendoublette mit Luftspalt und der zweiten Linsendoublette mit Luftspalt in der fünften

Linsengruppe den maximalen effektiven Durchmesser aufweist.

In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Schnitt eines optischen Projektionssystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung zur Verwendung in einem Belichtungssystem;

Fig. 2 einen schematischen Schnitt eines Objektivtubus einer Projektionsbelichtungsanordnung mit einem optischen Projektionssystem gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3 einen schematischen Schnitt eines Objektivtubus einer Projektionsbelichtungsanordnung mit einem optischen Projektionssystem gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 einen schematischen Schnitt, aus dem Linsen eines optischen Projektionssystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich sind;

Fig. 5 einen Schnitt, aus dem die Linsen der dritten Linsengruppe des optischen Projektionssystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich sind;

Fig. 6 ein Schnitt, aus dem Linsen eines optischen Projektionssystems gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich sind;

Fig. 7 einen Graphen der Modulationsübertragungsfunktion (MTF, Modulation Transfer Function) der ersten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen;

Fig. 8 einen Graphen der MTF der ersten Ausführungsform der Erfindung, wenn sich der Umgebungsdruck um  $-100$  mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat;

Fig. 9A–9D Graphen der longitudinalen sphärischen Aberrationen, der Astigmatismusfeldkurven, der Verzerrung und der Strahlenaberration der ersten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen in Millimetern;

Fig. 10A–10D jeweils Graphen der aus den Fig. 9A–9D ersichtlichen Aberrationen, wenn sich der Umgebungsdruck um  $-30$  mmHg geändert hat;

Fig. 11A–11D jeweils Graphen der aus den Fig. 9A–9D ersichtlichen Aberrationen, wenn sich die Umgebungstemperatur um  $-3^{\circ}\text{C}$  gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat;

Fig. 12 einen Graphen der MTF der zweiten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen;

Fig. 13 einen Graphen der MTF der zweiten Ausführungsform der Erfindung, wenn sich der Umgebungsdruck um  $-100$  mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat;

Fig. 14A–14D Graphen der longitudinalen sphärischen Aberrationen, der Astigmatismusfeldkurven, der Verzerrung und der Strahlenaberrationen der ersten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen in Millimetern;

Fig. 15A–15D jeweils Graphen der aus den Fig. 14A–14D ersichtlichen Aberrationen, wenn sich der Umgebungsdruck um  $-30$  mmHg geändert hat;

Fig. 16A–16D jeweils Graphen der aus den Fig. 14A–14D ersichtlichen Aberrationen, wenn sich die Umgebungstemperatur um  $-3^{\circ}\text{C}$  gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat.

Im folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen detailliert erläutert. Dabei werden für gleiche Bauelemente gleiche Bezugszeichen verwendet.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, weist ein optisches Beleuchtungssystem IS eine Hochdruck-Quecksilberlampe auf und beleuchtet eine optische Platte R mit Licht der Wellenlänge der i-Linie ( $365\text{ nm}$ ) der Quecksilberdampfampe. Solche für die Erfindung verwendbare optische Beleuchtungssysteme sind z. B. aus den US-Patenten 4,497,015, 4,918,583, 5,245,384, 5,335,044 und 5,420,417 bekannt.

Die optische Platte R weist bestimmte Schaltungsmuster auf, die auf deren Oberfläche ausgebildet sind, und wird von der Plattenhalterung RS gehalten. Unter der optischen Platte R ist ein Wafer W auf einer den Wafer tragenden Waferhalterung WS angeordnet. Das von der von dem optischen Beleuchtungssystem IS beleuchteten optischen Platte R kommende Licht tritt in das optische Projektionssystem PL ein und bildet dann ein Bild der Lichtquelle des optischen Beleuchtungssystem IS am Ort der Blende des optischen Projektionssystems PL ab. Das heißt, daß das optische Beleuchtungssystem IS die optische Platte R entsprechend der Kohler-Beleuchtung beleuchtet. Das Licht am Ort der Blende des optischen Projektionssystems wird von demselben emittiert und erreicht den Wafer W als zweites Objekt. Das optische Projektionssystem PL bildet ein Bild der optischen Platte R auf den Wafer W ab. Somit wird das Schaltungsmuster der optischen Platte R auf den Wafer W übertragen.

Das optische Projektionssystem PL weist mehrere Linsenelemente auf. Diese Linsenelemente sind innerhalb eines Objektivtubus LB derart angeordnet, daß Luftspalte vorbestimmter Größen zwischen den Linsenelementen gebildet sind. An der Außenseite des Objektivtubus LB ist ein Flansch FL angeordnet. Der Flansch FL ist von einem Haltegestell CA des Hauptkörpers der Projektionsbelichtungsanordnung unterstützt. In dem optischen Projektionssystem PL ist eine Drucksteuerungsanordnung PC angeordnet, um den Druck in den einzelnen Luftspalten zwischen den Linsenelementen zu steuern. Für die Erfindung verwendbare Drucksteuerungsanordnungen sind z. B. im US-Patent 4,666,273 beschrieben.

Das optische Projektionssystem PL in der aus Fig. 1 ersichtlichen Projektionsbelichtungsanordnung ist derart aufgebaut, daß es folgende Bedingungen erfüllt:

$$|dS_{Ap}| < 0,3\lambda/(NA)^2 \quad (1)$$

$$|dCOM_{Ap}| < 0,3\lambda/(NA) \quad (2)$$

wobei

$dS_{Ap}$  der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems PL ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems um

30 mmHg geändert hat,

dCOMAp der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems um 30 mmHg geändert hat, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems PL ist.

Die o.g. Bedingungen (1) und (2) sind beides Bedingungen, bei denen der Kontrast des von dem optischen Projektionssystem PL gebildeten Bildes der optischen Platte R besonders gut ist. Die Bedingung (1) bestimmt das Verhältnis zwischen der Schärfentiefe des optischen Projektionssystems und dem Betrag der Veränderung der sphärischen Aberration, die zulässig ist, wenn sich der Umgebungsdruck geändert hat. Es wird nicht gewünscht, daß Bedingung (1) nicht erfüllt ist, da bei Nichterfüllung der Betrag der erzeugten sphärischen Aberration sehr groß wird und die MTF des Bildes stark abnimmt, was dazu führt, daß der Bildkontrast stark verschlechtert ist. Bedingung (2) bestimmt das Verhältnis zwischen dem Auflösungsvermögen des optischen Projektionssystems und dem Betrag der Änderung der Koma, der zulässig ist, wenn sich der Umgebungsdruck ändert. Es wird nicht gewünscht, daß Bedingung (2) nicht erfüllt ist, da bei Nichterfüllung der Betrag der um das Bild herum erzeugten Koma sehr groß ist und die MTF in dem das Bild umgebenden Bereich stark verringert ist, was dazu führt, daß der Bildkontrast dieses Bereichs stark verschlechtert ist.

Bei Projektionsbelichtungsvorrichtungen, wie bei dieser Ausführungsform, wird angenommen, daß keine Leistungsver schlechterung aufgrund einer Änderung des Umgebungsdrucks des optischen Beleuchtungssystems IS, der Plattenhalterung RS und der Wafer-Halterung WS auftritt. Deshalb wird bei dieser Ausführungsform eine Verschlechterung des Bildkontrastes verhindert, indem ein optisches Projektionssystem verwendet wird, das o.g. Bedingungen (1) und (2) selbst dann erfüllt, wenn sich der Umgebungsdruck geändert hat. Mit dem Aufbau dieser Ausführungsform ist es möglich, Muster von der optischen Platte R selbst bei geändertem Umgebungsdruck mit sehr guten Abbildungseigenschaften, auf den Wafer W zu übertragen.

Außerdem ist das optische Projektionssystem der aus Fig. 1 ersichtlichen Projektionsbelichtungsvorrichtung derart aufgebaut, daß es folgende Bedingungen erfüllt:

$$|dSA_t| < 0,3\lambda/(NA)^2 \quad (3)$$

$$|dCOMA_t| < 0,3\lambda/(NA) \quad (4)$$

$$|dMt| < 0,2\lambda/(NA)^2 \quad (5)$$

$$|dY_t| < 0,05\lambda/(NA),$$

wobei

dSA<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems PL ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dCOMA<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dMt der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dY<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems PL ist.

Die o.g. Bedingung (3) bis (6) sind die Bedingungen, um den Bildkontrast des von dem optischen Projektionssystem PL gebildeten Bildes der optischen Platte R aufrechtzuerhalten, sowie die Feldkrümmung und die Bildvergrößerung in einem günstigen Bereich zu halten. Die Bedingung (3) bestimmt das Verhältnis zwischen der Schärfentiefe des optischen Projektionssystems und dem Betrag der Änderung der sphärischen Aberration, die zulässig ist, wenn sich die Temperatur geändert hat. Es wird nicht gewünscht, daß die Bedingung (3) nicht erfüllt ist, da bei Nichterfüllung der Betrag der erzeugten sphärischen Aberration sehr groß wird, wenn die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL ansteigt, und die MTF des Bildes sich verschlechtert, was dazu führt, daß sich der Bildkontrast verschlechtert. Die Bedingung (4) bestimmt das Verhältnis zwischen dem Auflösungsvermögen des optischen Projektionssystems PL und dem Betrag der Änderung der Koma, die zulässig ist, wenn sich die Temperatur geändert hat. Es wird nicht gewünscht, daß die Bedingung (4) nicht erfüllt ist, da bei Nichterfüllung der Betrag der um das Bild herum erzeugten Koma sehr groß wird, wenn die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL sich verändert, wodurch die MTF um das Bild herum abnimmt, was dazu führt, daß der Bildkontrast in der Umgebung des Bildes schlechter wird. Die Bedingung (5) bestimmt das Verhältnis zwischen der Schärfentiefe des optischen Projektionssystems PL und der Änderung der zulässigen Feldkrümmung, wenn sich die Temperatur geändert hat. Es wird nicht gewünscht, daß die Bedingung (5) nicht erfüllt ist, da bei Nichterfüllung der Betrag der erzeugten Feldkrümmung sehr groß wird, wenn sich die Umgebungstemperatur der optischen Projektionssystems PL ändert, wodurch die verwendbare Schärfentiefe zu gering wird. Die Bedingung (6) bestimmt das Verhältnis zwischen dem Auflösungsvermögen des optischen Projektionssystems PL und der zulässigen Veränderung der Bildhöhe, wenn sich die Temperatur geändert hat. Es wird nicht gewünscht, daß die Bedingung (6) nicht erfüllt ist, da bei Nichterfüllung die erzeugte Änderung der Bildhöhe sehr groß wird, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems PL ändert, was zu einem Vergrößerungsfehler führt.

Es wird angenommen, daß bei Projektionsbelichtungsanordnungen, wie bei dieser Ausführungsform, im wesentlichen keine Leistungsver schlechterung aufgrund von Veränderungen der Temperatur für das optische Beleuchtungssystem IS, für die Plattenhalterung RS und für die Wafer-Halterung WS auftritt. Deshalb ist bei den Systemen gemäß dieser Ausführungsform eine Änderung der Abbildungscharakteristik im praktischen Einsatz durch die Verwendung des optischen Projektionssystems PL beschränkt, das o.g. Bedingung (1) bis (6) erfüllt. Die Struktur dieser Ausführungsform ermöglicht es, Muster von der optischen Platte R auf den Wafer W mit hervorragenden Abbildungseigenschaften zu übertragen, selbst wenn sich die Temperatur geändert hat.

Im folgenden wird unter Bezugnahme auf Fig. 2 erläutert, wie gemäß dieser Ausführungsform die Linsenelemente gehalten werden. Aus Fig. 2 ist ein Schnitt eines optischen Projektionssystems PL ersichtlich, bei dem die Linsenelemente des optischen Projektionssystems in fünf Linsenelemente G1 bis G5 aufgeteilt sind.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, ist jedes Linsenelement G1 bis G5 jeweils auf einer Halterung H1 bis H5 angeordnet. Die Halterungen H1 bis H5 sind ringförmig und unterstützen jeweils ein Linsenelement G1 bis G5 an dessen äußerem Rand. Zwischen den einzelnen Halterungen H1 bis H5 sind Abstandhalter SP1 bis SP5 angeordnet, die ebenfalls ringförmig sind, um jeweils einen vorbestimmten Abstand zwischen den Linsenelementen G1 bis G5 aufrechtzuerhalten, wobei die Dicke eines jeden Abstandhalters SP1 bis SP5 in Richtung der optischen Achse derart bestimmt ist, daß die gewünschten Abstände zwischen den Linsenelementen G1 bis G5 aufrechterhalten sind.

Bei dieser Ausführungsform sind der Objektivtubus LB, die Halterungen H1 bis H5 und die Abstandhalter SP1 bis SP5 alle aus dem gleichen Material. Dieser Aufbau verhindert eine durch unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten hervorgerufene Verwindung, die entstehen würde, falls der Objektivtubus, die Halterungen und die Abstandhalter aus unterschiedlichen Materialien wären. Das aus Fig. 1 ersichtliche Projektionssystem PL ist derart aufgebaut, daß es folgende Bedingungen erfüllt:

$$|dSA_t1| < 0,9x\lambda/(NA)^2 \quad (7)$$

$$|dSA_t2| < 0,9x\lambda/(NA)^2 \quad (8)$$

$$|dSA_t3| < 0,9x\lambda/(NA)^2 \quad (9)$$

$$|dCOMA_t1| < 0,9x\lambda/(NA) \quad (10)$$

$$|dCOMA_t2| < 0,9x\lambda/(NA) \quad (11)$$

$$|dCOMA_t3| < 0,9x\lambda/(NA) \quad (12)$$

$$|dMt1| < 0,6x\lambda/(NA)^2 \quad (13)$$

$$|dMt2| < 0,6x\lambda/(NA)^2 \quad (14)$$

$$|dMt3| < 0,6x\lambda/(NA)^2 \quad (15)$$

$$|dY_t1| < 0,15x\lambda/(NA) \quad (16)$$

$$|dY_t2| < 0,15x\lambda/(NA) \quad (17)$$

$$|dY_t3| < 0,15x\lambda/(NA) \quad (18)$$

wobei

wobei dSA<sub>t1</sub> der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit maximaler numerischer Apertur des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn die Temperatur des optischen Projektionssystems PL sich um 3°C geändert hat,

dSA<sub>t2</sub> der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Änderung der Form optischer Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dSA<sub>t3</sub> der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektivtubus auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dCOMA<sub>t1</sub> der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur an der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dCOMA<sub>t2</sub> der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur an der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund einer Änderung der Form der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dCOMAt3 der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektivtubus auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dMt1 der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dMt2 der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund einer Änderung der Form der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dMt3 der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektivtubus auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dYt1 der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dYt2 der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund einer Änderung der Form der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

dYt3 der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektivtubus auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems PL um 3°C geändert hat,

$\lambda$  die Wellenlänge des von dem optischen Beleuchtungssystem kommenden Lichtes ist, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems PL ist.

Die o.g. Bedingungen (7) bis (18) sind die günstigsten Bedingungen, um den Kontrast des von dem optischen Projektionssystem PL abgebildeten Bildes der optischen Platte R, die Feldkrümmung und die Bildvergrößerung aufrechtzuerhalten.

Die Bedingungen (7) bis (9) entsprechend der o.g. Bedingung (3), wobei sie sicherstellen, daß der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung des Brechungsindex in jedem Linsenelement des optischen Projektionssystems PL, der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung der Form eines jedes Linsenelementes und der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Expansion und Kontraktion des die Linsenelemente haltenden Objektivtubus, maximal das Dreifache des Betrages der Änderung der sphärischen Aberration betragen, die gemäß der o.g. Bedingung (3) für das optische Projektionssystem PL zulässig ist.

Die Bedingungen (10) bis (12) entsprechen der o.g. Bedingung (4), wobei sie sicherstellen, daß der Betrag der Änderung der Koma aufgrund der Änderung des von der Temperaturänderung herrührenden Änderung des Brechungsindex in jeder Linseneinheit des optischen Projektionssystems PL, der Betrag der Änderung der Koma aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung der Form einer jeden Linseneinheit und der Betrag der Änderung der Koma aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Expansion und Kontraktion des die Linsenelemente haltenden Objektivtubus, maximal das Dreifache der Änderung der Koma betragen, welche Änderung gemäß o.g. Bedingung (4) für das optische Projektionssystem PL zulässig ist.

Die Bedingungen (13) bis (15) entsprechen der o.g. Bedingung (5), wobei sie sicherstellen, daß der Betrag der Änderung der Feldkrümmung aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung des Brechungsindex jeder Linse des optischen Projektionssystems PL, der Betrag der Änderung der Feldkrümmung wegen der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung der Form eines jeden Linsenelementes und der Betrag der Änderung der Feldkrümmung aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Expansion und Kontraktion des die einzelnen Linsenelemente haltenden Objektivtubus maximal das Dreifache des Betrages der Änderung der Feldkrümmung beträgt, die gemäß o.g. Bedingung (5) für das optische Projektionssystem PL zulässig ist.

Die Bedingungen (16) bis (18) entsprechen o.g. Bedingung (6), wobei sie sicherstellen, daß der Betrag der Änderung der Bildhöhe aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung des Brechungsindex jedes Linsenelementes des optischen Projektionssystems PL, der Betrag der Änderung der Bildhöhe aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung der Form eines jeden Linsenelementes und der Betrag der Änderung der Bildhöhe aufgrund der von der Temperaturänderung herrührenden Expansion und Kontraktion des die Linsenelemente tragenden Objektivtubus maximal das Dreifache des Betrages der Änderung der Bildhöhe betragen, die gemäß o.g. Bedingung (6) für das optische Projektionssystem PL zulässig ist.

Somit stellen die Bedingungen (7) bis (18) sicher, daß der Betrag der Änderung der Aberration aufgrund der Änderung des Brechungsindex eines jeden Linsenelementes, der Änderung der Form eines jeden Linsenelementes und der Expansion und Kontraktion des Objektivtubus maximal das Dreifache des Betrages der Änderung der Aberration aufgrund all dieser Parameter zusammen beträgt (Änderung des Brechungsindex, Änderung der Form und Expansion und Kontraktion des Objektivtubus). Diese Struktur ermöglicht es, die jeweilige Abweichung zwischen dem Betrag der von der Temperaturänderung herrührenden Änderung einer jeden Aberration und den erwarteten Werten auf einem Minimum zu halten, selbst wenn für jeden Parameter zwischen den geplanten Werten und den tatsächlichen Werten Unterschiede bestehen. Diese Struktur ist insbesondere dann effektiv, wenn die Brechungsindizes unterschiedlich sind, weil die Gläser der Linsenelemente unterschiedlich sind, oder falls die Brechungsindizes der Gläser falsch gemessen wurden.

Bei der oben beschriebenen Ausführungsform sind die Halterungen H1 bis H5, die die Linsenelemente G1 bis



G5 des optischen Projektionssystems PL halten, die Abstandshalter SP1 bis SP5, die vorbestimmte Abstände der einzelnen Halterungen H1 bis H5 voneinander aufrechterhalten, und der Objektvtubus, in dem die Halterungen H1 bis H5 und die Abstandshalter SP1 bis SP5 angeordnet sind, alle aus dem gleichen Material. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Solange die Struktur o.g. Bedingungen (1) bis (18) erfüllt, können die Halterungen H1 bis H5 und der Objektvtubus LB aus dem gleichen Material sein, während die Abstandshalter aus einem anderen Material sind, oder die Halterung H1 bis H5, die Abstandshalter SP1 bis SP5 und der Objektvtubus LB können alle aus voneinander verschiedenen Materialien sein.

Der Objektvtubus kann Elemente, wie aus Fig. 3 ersichtlich, aufweisen. Fig. 3 ist ein Schnitt, aus dem eine andere Struktur des Objektvtubus ersichtlich ist. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, sind die Linsenelemente des optischen Projektionssystems PL in fünf Linsenelemente G1 bis G5 aufgeteilt. Wie aus Fig. 3 ersichtlich, ist jedes Linsenelement G1 bis G5 auf Unterobjektvtuben LB1 bis LB5 angeordnet. Diese Unterobjektvtuben LB1 bis LB5 sind ringförmig und weisen auf ihrer Innenfläche jeweils einen Haltering auf, auf dem die einzelnen Linsenelemente angeordnet sind. Zwischen den einzelnen Unterobjektvtuben LB1 bis LB5 sind Abstandshalter SP1 bis SP5 angeordnet, um zwischen den einzelnen Unterobjektvtuben LB1 bis LB5 vorbestimmte Abstände aufrechtzuerhalten, so daß die Spalte zwischen den einzelnen Linsenelementen G1 bis G5 auf den gewünschten Werten gehalten werden. Die Abstandshalter SP1 bis SP5 sind ringförmig und ihre jeweilige Dicke ist derart bestimmt, daß die Abstände zwischen den einzelnen Linsenelementen G1 bis G5 den jeweils gewünschten Wert aufweisen. In der aus Fig. 3 ersichtlichen Ausführungsform, sind die Unterobjektvtuben LB1 bis LB5 und die Abstandshalter SP1 bis SP5 aus dem gleichen Material, die Objektvtuben LP1 bis LP5 und die Abstandshalter SP1 bis SP5 können jedoch auch aus unterschiedlichen Materialien sein. Ferner ist der Aufbau der aus Fig. 3 ersichtlichen Ausführungsform derart, daß die Bedingungen (1) bis (18) erfüllt sind.

Fig. 4 ist eine schematische Darstellung, aus der der Strahlverlauf im optischen Projektionssystem PL gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich ist. Wie aus Fig. 4 ersichtlich, weist das optische Projektionssystem PL gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung von der Seite der optischen Platte R als erstes Objekt aus gesehen eine erste Linsengruppe G1 mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe G2 mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe G3 mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe G4 mit negativer Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe G5 mit positiver Brechkraft auf, wobei die dritte Linsengruppe G3 derart aufgebaut ist, daß sie von der Seite der optischen Platte R her gesehen aufweist: einen ersten Meniskus L31 und einen zweiten Meniskus L32 mit positiver Brechkraft, deren konkave Seite jeweils auf die optische Platte R ausgerichtet ist, und einen dritten Meniskus L34 und einen vierten Meniskus L35 mit positiver Brechkraft, deren konkave Seite jeweils auf den Wafer W ausgerichtet ist. Bei dieser Ausführungsform ist das Linsenelement L33 mit dem größten effektiven Durchmesser der Elemente der dritten Linsengruppe G3 zwischen dem ersten Meniskus L31 und dem vierten Meniskus L35 angeordnet.

Die fünfte Linsengruppe G5 ist derart aufgebaut, daß sie eine Blende AP aufweist. Von der Blende AP aus gesehen auf der Seite des Wafers W sind eine erste Linsendublette mit Luftspalt, die einen negativen Meniskus L53, dessen konkave Seite auf den Wafer ausgerichtet ist, und eine positive Bikonvexlinse L54 aufweist, und eine zweite Linsendublette mit Luftspalt angeordnet, die eine positive Bikonvexlinse L55 und einen negativen Meniskus L56 aufweist, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist.

Im folgenden wird der Betrieb der oben beschriebenen Struktur erläutert. Die jeweilige Aufgabe der einzelnen Linsengruppen G1 bis G5 ist wie folgt:

Die erste Linsengruppe G1 weist insgesamt eine positive Brechkraft auf, und ihre Aufgabe liegt darin, Astigmatismus und Verzerrungen zu korrigieren. Die zweite Linsengruppe G2 hat insgesamt eine negative Brechkraft und hilft bei der Reduzierung der Feldkrümmung dadurch, daß sie eine negative Petzval-Summe aufweist, während sie die Erzeugung von Koma und Verzerrung minimiert. Die dritte Linsengruppe G3 weist insgesamt eine positive Brechkraft auf und korrigiert negative Koma, die hauptsächlich in der hinteren Hälfte (d. h. auf der Seite des zweiten Objektes) der vierten Linsengruppe G4 und in der fünften Linsengruppe G5 auftritt. Die dritte Linsengruppe G3 spielt auch eine wichtige Rolle beim Vergrößern des Arbeitsabstandes in dem optischen Projektionssystem auf der Seite des Wafers, da die dritte Linsengruppe G3 zusammen mit der zweiten Linsengruppe G2 ein Retro-Fokus-System mit  $(-+)$ -Brechkraftanordnung darstellt. Die vierte Linsengruppe G4 weist insgesamt eine negative Brechkraft auf und hat wesentlichen Anteil bei der Reduzierung der Feldkrümmung, da sie eine negative Petzval-Summe aufweist. Die fünfte Linsengruppe G5 weist insgesamt eine positive Brechkraft auf, fokussiert die Strahlen auf die Oberfläche des zweiten Objektes, wo sie ein Bild des ersten Objektes abbildet, während das Auftreten verschiedener Aberrationen so stark wie möglich verringert wird.

Das optische Projektionssystem PL gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung weist insgesamt eine  $(+ - + - +)$ -Brechkraftanordnung auf, wobei Linsengruppe mit einer positiven Brechkraft und Linsengruppen mit einer negativen Brechkraft einander abwechselnd angeordnet sind. Dieser Aufbau macht es möglich, die in den Linsengruppen mit positiver Brechkraft auftretenden Aberrationen mit Hilfe der jeweils benachbarten Linsengruppe mit negativer Brechkraft zu korrigieren, wobei die Aberrationen auf ideale Bedingungen beschränkt sind. Zusätzlich ist es möglich, wenn die Umgebungsbedingungen, wie Druck und Temperatur, sich geändert haben, daß die Änderungen der in den Linsengruppen mit positiver Brechkraft auftretenden Aberrationen von den Änderungen der Aberrationen, die in den Linsengruppen mit negativer Brechkraft auftreten, rückgängig gemacht werden.

Bei dem optischen Projektionssystem PL gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung sind die erste Linsengruppe G1, die zweite Linsengruppe G2 und die fünfte Linsengruppe G5 derart aufgebaut, daß sie jeweils eine Kombination positiver Linsenelemente und negativer Linsenelemente aufweisen. Dieser Aufbau macht es möglich, durch Rückgängigmachen der in den positiven Linsenelementen auftretenden Aberrationen mit Hilfe der negativen Linsenelemente und ebenso Rückgängigmachen der in den positiven Linsenelementen auftretenden Aberrationen mit Hilfe der negativen Linsenelemente die Aberrationen auf die in einer idealen Umgebung



auf tretenden zu beschränken, wenn sich die Umgebungsbedingungen, wie Druck und Temperatur, geändert haben.

Da das optische Projektionssystem PL jedoch insgesamt eine positive Brechkraft aufweist, gibt es eine Tendenz, daß der Betrag der Änderung der Aberration, die in den positiven Linsengruppen entsteht, größer wird als der Betrag der Änderung der Aberration, die in den negativen Linsengruppen entsteht, wenn sich die Umgebungsbedingungen geändert haben. Insbesondere bei der Ausführungsform, bei der die dritte Linsengruppe G3 nur positive Linsen aufweist, ist es wesentlich, den Grad der Änderung der Aberration in der dritten Linsengruppe G3 zu steuern, um den Betrag der Änderung der Aberration auf ein Minimum zu beschränken, wenn sich die Umgebungsbedingungen geändert haben.

Was die Entstehung von Aberrationen aufgrund von Veränderungen des Umgebungsdrucks angeht, ändert sich bei dieser Ausführungsform, bei der das optische Projektionssystem PL eine (+ - + - +)-Brechkraftanordnung aufweist, der Brechungsindex der Luft zwischen den einzelnen Linsenelementen des optischen Projektionssystems PL ebenfalls, wenn sich der Umgebungsdruck um das optische Projektionssystem PL herum ändert. Wenn sich z. B. der Umgebungsdruck verringert, verringert sich auch der Brechungsindex der Luft, was dazu führt, daß das Verhältnis des Brechungsindex des optischen Materials der einzelnen Linsen zu dem Brechungsindex der Luft größer wird. Deshalb wird an der jeweiligen Linsenfläche, auf die das Licht einfällt, der Einfallswinkel größer, und auf den jeweiligen Flächen der Linsen, aus denen das Licht austritt, wird der Ausfallswinkel größer, wodurch sich der Einfluß der Veränderung des Umgebungsdrucks verstärkt.

Das von der zweiten, negative Brechkraft aufweisenden Linsengruppe G2 kommende Strahlenbündel tritt in die dritte Linsengruppe G3 ein. In der dritten Linsengruppe G3 des optischen Projektionssystems PL gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung wird das divergente Strahlenbündel, d. h. die Gruppe der divergenten, von der zweiten Linsengruppe G2 kommende Strahlen, auf den ersten und auf den zweiten Meniskus gelenkt, auf deren konkave Seiten das einfallende Strahlenbündel einfällt. Auf jeder Linsenfläche des ersten Meniskus und des zweiten Meniskus können sowohl der Einfallswinkel als auch der Ausfallswinkel (des Strahlenbündels) relativ zu der Gruppe der divergent von der zweiten Linsengruppe G2 einfallenden Strahlen verringert werden. Auch das von dem ersten Meniskus und von dem zweiten Meniskus kommende Strahlenbündel wird zu einem konvergenten Strahlenbündel umgeformt, d. h. zu einer Gruppe konvergenter Strahlen, und tritt dann in die vierte Linsengruppe G4 ein. Da der dritte Meniskus und der vierte Meniskus derart angeordnet sind, daß deren konkave Seite auf der Austrittsseite des Strahlenbündels liegt, oder mit anderen Worten, derart angeordnet sind, daß deren konvexe Fläche jeweils auf der Eintrittsseite des Strahlenbündels liegt, ist es möglich, den Eintrittswinkel und den Austrittswinkel relativ zu dem Strahlenbündel, das zur vierten Linsengruppe G4 hin läuft, an jeder Linsenfläche des dritten Meniskus und des vierten Meniskus zu verringern.

Somit ist die Linsengruppe derart aufgebaut, daß der Einfallswinkel und der Ausfallswinkel an jeder Linsenfläche des ersten bis vierten Meniskus klein sind, wobei es, falls sich der Umgebungsdruck ändert, möglich ist, daß der Betrag der von einer Änderung des Brechungsindexes herrührenden Änderung der Aberration der Luft klein bleibt. Diese Ausführungsform weist ferner einen Aufbau auf, bei dem die Linse mit dem maximalen effektiven Durchmesser der Linsen der dritten Linsengruppe zwischen dem ersten Meniskus und dem vierten Meniskus angeordnet ist. Sonst (d. h. falls die Linse mit dem maximalen effektiven Durchmesser in der dritten Linsengruppe auf der Seite des ersten Meniskus angeordnet ist, die näher an der optischen Platte liegt, oder auf der Seite des vierten Meniskus angeordnet ist, die näher am Wafer liegt) wird das durch die Linsengruppe G3 laufende Strahlenbündel keine Gruppe divergenter Strahlen relativ zu dem ersten Meniskus und dem zweiten Meniskus sein, oder das von dem dritten Meniskus und dem vierten Meniskus kommende Strahlenbündel wird keine Gruppe konvergenter Strahlen werden.

Diese Ausführungsform weist einen Aufbau auf, bei dem die dritte Linsengruppe G3 Aberrationen ausgleicht, indem sie eine der Koma entgegengesetzte Koma erzeugt, die in der vierten Linsengruppe G4 und in der zweiten Hälfte der fünften Linsengruppe G5 erzeugt wird. Betrachtet man den unteren meridionalen Strahl aus dem nichtaxialen Strahlenbündel, der durch die dritte Linsengruppe G3 hindurchtritt, so wird bei dem Aufbau, bei dem der Einfallswinkel und der Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls an jeder Linsenfläche der dritten Linsengruppe G3 größer werden (z. B. wenn der Umgebungsdruck fällt) die Koma insbesondere in der dritten Linsengruppe G3 korrigiert, was dazu führt, daß äußere Koma auf der Bildoberfläche erzeugt wird. Deshalb sind in der dritten Linsengruppe G3 gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung der erste Meniskus und der zweite Meniskus derart angeordnet, daß ihre jeweilige konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, und der dritte und der vierte Meniskus derart angeordnet, daß ihre jeweilige konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, was es ermöglicht, den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls aus dem nichtaxialen Strahlbündel, das durch die dritte Linsengruppe G3 hindurchtritt, an jeder Linsenfläche zu minimieren. Somit kann der Betrag der von einer Änderung des Umgebungsdrucks herrührenden Änderung der Koma verringert werden.

Zum Beispiel ist es nicht gewünscht, daß die dritte Linsengruppe G3 lediglich bikonvexe Linsen aufweist, da die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls relativ zu jeder Linsenfläche der dritten Linsengruppe G3 vergrößert sind, was dazu führt, daß sich die Koma ändert, wenn sich der Umgebungsdruck ändert. Auch wenn es möglich ist, den Betrag der Änderung der Koma, die in der dritten Linsengruppe G3 auftritt, durch Vergrößern der Einfallswinkel und der Ausfallswinkel relativ zu jeder Linsenfläche eines durch die vierte Linsengruppe G4 und die fünfte Linsengruppe G5 hindurchtretenden Strahls rückgängig zu machen (d. h. wenn die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls relativ zu jeder Linsenfläche der dritten Linsengruppe G3 groß sind), ist dies in diesem Fall nicht gewünscht, da sonst der Betrag sowohl der sphärischen Aberrationen höherer Ordnungen sowie die Koma höherer Ordnungen, die unter idealen Bedingungen auftreten, sich vergrößern, welche Aberrationen und Koma beide nur schwer korrigierbar sind.

Da bei dieser Ausführungsform in der dritten Linsengruppe G3 der erste Meniskus und der zweite Meniskus

derart angeordnet sind, daß ihre jeweilige konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, und der dritte Meniskus und der vierte Meniskus derart angeordnet sind, daß ihre jeweilige konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, ist es möglich, die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel relativ zu jeder Linsenfläche eines axialen Strahlbündels, das durch die dritte Linsengruppe G3 tritt, zu verringern. Somit kann der Betrag der Veränderung der sphärischen Aberration verringert werden, wenn sich der Umgebungsdruck ändert. Es ist bevorzugt, daß jedes Linsenelement L31 bis L35 in der dritten Linsengruppe G3 die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$|\sin(\beta)| < 0,5 \quad (19)$$

$$|(\alpha - \beta)/(\alpha - \gamma)| < 1,5 \quad (20)$$

wobei

$\alpha$  der Einfallswinkel des Hauptstrahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL auf der Oberfläche eines Linsenelementes auf der Seite des ersten Objektes, und/oder der Ausfallswinkel des Hauptstrahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL auf der Fläche eines Linsenelementes auf der Seite des zweiten Objektes ist,

$\beta$  der Einfallswinkel des unteren meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL auf der Fläche eines Linsenelementes auf der Seite des ersten Objektes und/oder der Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL auf der Linsenfläche eines Linsenelementes auf der Seite des zweiten Objektes ist, und

$\gamma$  der Einfallswinkel des oberen meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL auf der Fläche eines Linsenelementes auf der Seite des ersten Objektes und/oder der Ausfallswinkel des oberen meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems PL auf der Fläche eines Linsenelementes auf der Seite des zweiten Objektes ist.

Die Bedingung (19) bestimmt den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls, der durch alle Linsen der dritten Linsengruppe G3 hindurchtritt. Es ist nicht gewünscht, daß die Oberflächen der Linsenelemente der dritten Linsengruppe G3 außerhalb des durch die Bedingung (19) gegebenen Bereichs liegen, da an jeder Linsenfläche die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls, der durch die dritte Linsengruppe G3 hindurchtritt, sehr groß werden, was dazu führt, daß der Betrag der Änderung der Koma ebenfalls sehr groß wird, wenn sich der Umgebungsdruck ändert.

Die Bedingung (20) bestimmt den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel des oberen meridionalen Strahls, des unteren meridionalen Strahls und des Hauptstrahls, die durch die Linsenelemente der dritten Linsengruppe G3 hindurchtreten. Es ist nicht gewünscht, daß die Linsenflächen der Linsen der dritten Linsengruppe G3 außerhalb des durch die Bedingung (20) gegebenen Bereichs liegen, da die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel des oberen meridionalen Strahls an jeder Linsenfläche sehr klein werden, was dazu führt, daß der Betrag der Änderung der Koma, die in der dritten Linsengruppe auftritt, sehr groß wird, wenn sich der Umgebungsdruck ändert.

Diese Ausführungsform der Erfindung weist einen Aufbau auf, bei dem die Blende AS innerhalb der fünften Linsengruppe G5 angeordnet ist, was es ermöglicht, den Betrag der Koma, die in der fünften Linsengruppe G5 auftritt, zu verringern. Dieser Aufbau macht es ebenfalls möglich, den Betrag der Änderung der Koma aufgrund einer Änderung des Umgebungsdrucks zu verringern, da dieser Aufbau die Höhe des Hauptstrahls relativ zur optischen Achse vergrößern kann, der durch die dritte Linsengruppe G3 hindurchtritt.

Diese Ausführungsform der Erfindung weist von der Blende AS aus gesehen auf der Seite des Wafers W die erste Linsendublette mit Luftspalt mit einem negativen Meniskus L53, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, und einer positiven Bikonvexlinse L54 sowie die zweite Linsendublette mit Luftspalt mit einer positiven Bikonvexlinse L55 und einer negativen Linse L56 auf, deren konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist. Die erste Linsendublette und die zweite Linsendublette mit Luftspalt tragen unter idealen Bedingungen hauptsächlich zur Korrektur der sphärischen Aberration bei.

Wenn sich der Umgebungsdruck ändert, ändert sich die sphärische Aberration, die an der konkaven Fläche der negativen Linsen der ersten Linsendublette mit Luftspalt und der zweiten Linsendublette mit Luftspalt entstehen, entgegengesetzt zur Richtung der sphärischen Aberration, die in der fünften Linsengruppe G5 durch eine Änderung des Umgebungsdrucks erzeugt wird, was es ermöglicht, den Betrag der Änderung der sphärischen Aberration insgesamt zu minimieren, selbst wenn sich der Umgebungsdruck geändert hat. Wenn wenigstens ein Linsenelement unter den Linsenelementen des ersten Linsendubletts mit Luftspalt und des zweiten Linsendubletts mit Luftspalt nicht den maximalen effektiven Durchmesser der fünften Linsengruppe G5 aufweist, wird die Korrektur der sphärischen Aberration unter idealen Bedingungen schwierig, und in den negativen Linsen des ersten Linsendubletts mit Luftspalt und des zweiten Linsendubletts mit Luftspalt werden unterschiedliche Aberrationen erzeugt.

Der Einfluß einer Temperaturänderung auf ein optisches System ist die Summe der Änderungen der Aberrationen, die aus den Änderungen der Formen des optischen Materials aufgrund dessen Expansion und Kontraktion, der Änderung von Aberrationen aufgrund von Änderungen des Brechungsindex optischer Materialien, der Änderung von Aberrationen aufgrund der Expansion und Kontraktion von Linsenhalterungen und der Änderung von Aberrationen aufgrund von Wechselwirkungen zwischen diesen Effekten resultieren.

Da, wie oben beschrieben, das optische Projektionssystem PL gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung eine (+ - + - +)-Breckkraftanordnung aufweist, sind die Aberrationen in den positiven Linsengruppen und die Aberrationen in den negativen Linsengruppen benachbarten negativen Linsengruppen einander entgegengesetzt und neigen dazu, sich gegenseitig aufzuheben, wenn die Temperatur des optischen Systems sich geändert hat. Ferner sind die erste Linsengruppe G1, die zweite Linsengruppe G2 und die fünfte Linsengruppe G5 gemäß

dieser Ausführungsform der Erfindung aus einer Kombination von positiven Linsenelementen und negativen Linsenelementen zusammengesetzt. Der Aufbau ermöglicht es, die in den positiven Linsenelementen entstehende Aberration mit Hilfe der negativen Linsenelemente rückgängig zu machen, wenn sich die Temperatur geändert hat.

Im folgenden wird die dritte Linsengruppe G3, die im wesentlichen positive Linsenelemente aufweist, genauer betrachtet. Gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung weist die dritte Linsengruppe G3 in einer Reihenfolge von der Seite der optischen Platte R beginnend auf: den ersten Meniskus L31 und den zweiten Meniskus L32, die jeweils eine positive Brechkraft haben und deren konkave Seite jeweils auf die optische Platte ausgerichtet ist, und den dritten Meniskus L34 und den vierten Meniskus L35, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Seite jeweils auf den Wafer W ausgerichtet ist. Aufgrund des Aufbaus, bei dem die Linse mit dem maximalen effektiven Durchmesser der Linsen der dritten Linsengruppe G3 zwischen dem ersten Meniskus L31 und dem vierten Meniskus L35 angeordnet ist, tritt die Gruppe divergenter Strahlen in den ersten Meniskus L31 und in den zweiten Meniskus L32 hinein und die Gruppe konvergenter Strahlen tritt aus dem dritten Meniskus L34 und dem vierten Meniskus L35 aus. Deshalb können die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel für die Gruppe divergenter Strahlen an jeder Linsenfläche, welche Strahlen durch den ersten Meniskus L31 und den zweiten Meniskus L32 hindurchtreten, verringert sein, und die Einfallswinkel und die Ausfallswinkel an jeder Linsenfläche der Gruppe konvergenter Strahlen, die durch den dritten Meniskus L34 und den vierten Meniskus L35 hindurchtreten, können ebenfalls verringert sein. Die Verringerung der Ausfallswinkel und der Einfallswinkel an jeder Linsenfläche führt zur Verringerung des Betrags der Aberrationen, die an den einzelnen Linsenflächen auftreten. Falls sich die Temperatur ändert, kann der Betrag der Änderung der Aberrationen sehr klein gehalten werden, da schon die ursprünglichen Aberrationen sehr klein sind.

Jedoch ist es schwierig, die Koma unter idealen Bedingungen (d. h. ideale Temperatur) nur aufgrund der Struktur der o.g. dritten Linsengruppe G3, im Gleichgewicht zu halten. Deshalb ist bei dieser Ausführungsform der Erfindung die Blende AS dichter am Wafer W angeordnet, indem die Blende AS in der fünften Linsengruppe G5 angeordnet ist, so daß die Koma, die in der fünften Linsengruppe selbst auftritt, verringert ist.

Im folgenden wird die fünfte Linsengruppe G5 gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung genauer betrachtet. Die erste Linsendublette mit Luftspalt weist einen negativen Meniskus L53, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, und eine positive Bikonvexlinse L54 auf, und die zweite Linsendublette mit Luftspalt weist eine positive Bikonvexlinse L55 und eine negative Linse L56 auf, deren konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, wobei wenigstens ein Linsenelement der Linsenelemente des ersten Linsendubletts mit Luftspalt und des zweiten Linsendubletts mit Luftspalt bei den Elementen der fünften Linsengruppe G5 den maximalen effektiven Durchmesser aufweist.

Bei diesem Aufbau ändern sich, wenn sich die Temperatur ändert, die sphärische Aberrationen und die Koma, die an den konkaven Flächen der negativen Linsen des ersten Linsendubletts mit Luftspalt und des zweiten Linsendubletts mit Luftspalt auftreten, in die der Richtung der sphärischen Aberration und der Koma des optischen Projektionssystems PL entgegengesetzten Richtung, wenn sich die Temperatur ändert, was es ermöglicht, den gesamten Betrag der Änderung der sphärischen Aberration und der Koma klein zu halten. Ferner weisen die konkaven Flächen der negativen Linsen des ersten Linsendubletts mit Luftspalt und des zweiten Linsendubletts mit Luftspalt eine derartige Funktion auf, daß sie die Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhenposition des optischen Projektionssystems PL korrigieren, wenn sich die Temperatur ändert.

Für das optische Projektionssystem PL gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung ist es gewünscht, daß die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$0,10 < f1/L < 0,25 \quad (21)$$

$$-0,09 < f2/L < -0,03 \quad (22)$$

$$0,05 < f3/L < 0,20 \quad (23)$$

$$-0,10 < f4/L < 0,02 \quad (24)$$

$$0,05 < f5/L < 0,20 \quad (25)$$

wobei

f1 die Brennweite der ersten Linsengruppe G1 ist,

f2 die Brennweite der zweiten Linsengruppe G2 ist,

f3 die Brennweite der dritten Linsengruppe G3 ist,

f4 die Brennweite der vierten Linsengruppe G4 ist,

f5 die Brennweite der fünften Linsengruppe G5 ist, und

L der Abstand zwischen Objekt und Bild ist (der Abstand von dem ersten Objekt (optische Platte R) zum zweiten Objekt (Wafer W)).

Die Bedingung (21) bestimmt den Bereich der optimalen Brennweite der ersten, eine positive Brechkraft aufweisenden Linsengruppe G1. Es ist nicht gewünscht, die obere Grenze zu überschreiten, da die Korrektur negativer Verzerrungen sonst schwierig wird. Es ist ferner nicht gewünscht, die untere Grenze zu unterschreiten, da ansonsten die Korrektur sphärischer Aberrationen der Blende schwierig wird.

Die Bedingung (22) bestimmt den Bereich der optimalen Brennweite der zweiten Linsengruppe G2, die eine negative Brechkraft aufweist. Es ist nicht gewünscht, die obere Grenze zu überschreiten, da die Korrektur negativer Verzerrungen, die in der zweiten Linsengruppe G2 auftreten, ansonsten schwierig werden. Es ist

ferner nicht gewünscht, die untere Grenze zu unterschreiten, da ansonsten die Verringerung der Petzval-Summe und die Verringerung der gesamten Länge schwierig wird.

Die Bedingung (23) bestimmt den Bereich der optimalen Brennweite der dritten, eine positive Brechkraft aufweisenden Linsengruppe G3. Es ist nicht gewünscht, die obere Grenze zu überschreiten, da ansonsten die Brechkraft der zweiten Linsengruppe oder der vierten Linsengruppe schwach wird, was die Korrektur der Petzval-Summe schwierig macht. Es ist ferner nicht gewünscht, die untere Grenze zu unterschreiten, da die Korrekturen der Koma und der Verzerrung ansonsten schwierig werden.

Die Bedingung (24) bestimmt den Bereich der optimalen Brennweite der eine negative Brechkraft aufweisenden vierten Linsengruppe G4. Es ist nicht gewünscht, die obere Grenze zu überschreiten, da ansonsten Koma erzeugt wird. Es ist ferner nicht gewünscht, die untere Grenze zu unterschreiten, da ansonsten die Verringerung der Petzval-Summe schwierig wird.

Schließlich bestimmt Bedingung (25) den Bereich der optimalen Brennweite der eine positive Brechkraft aufweisenden fünften Linsengruppe G5. Es ist nicht gewünscht, die obere Grenze zu überschreiten, da ansonsten die Brechkraft der fünften Linsengruppe zu schwach wird, und somit auch die Brechkraft der vierten Linsengruppe schwach wird, was es schwierig macht, die Petzval-Summe klein zu halten. Es ist ferner nicht gewünscht, die untere Grenze zu unterschreiten, da ansonsten sphärische Aberrationen erzeugt werden.

Wie aus den Fig. 4 bzw. 6 ersichtlich, aus denen der Strahlverlauf gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung bzw. der zweiten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich ist, weist jede Ausführungsform gemäß Fig. 4 bzw. Fig. 6 in einer Reihenfolge auf der Seite der optischen Platte R beginnend auf der Seite des ersten Objektes eine erste Linsengruppe G1 mit einer positiven Brechkraft, eine zweite Linsengruppe G2 mit einer negativen Brechkraft, eine dritte Linsengruppe G3 mit einer positiven Brechkraft, eine vierte Linsengruppe G4 mit einer negativen Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe G5 mit einer positiven Brechkraft auf. Bei dem optischen Projektionssystem gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung bzw. der zweiten Ausführungsform der Erfindung sind die Seite des ersten Objekts (die Seite mit der optischen Platte R) und die Seite des zweiten Objekts (die Seite des Wafers W) praktisch telezentrisch, wobei ein verkleinertes Bild des ersten Objektes auf das zweite Objekt übertragen wird.

Im folgenden wird detailliert auf das optische Projektionssystem gemäß der ersten, aus Fig. 4 ersichtlichen Ausführungsform der Erfindung eingegangen. Diese Ausführungsform weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes auf: eine erste Linsengruppe G1 mit einer positiven Brechkraft, eine zweite Linsengruppe G2 mit einer insgesamt negativen Brechkraft, welche Linsengruppe 2 einen negativen Meniskus L21, der näher am ersten Objekt angeordnet ist und dessen konkave Seite auf das zweite Objekt ausgerichtet ist, und einen negativen Meniskus L27 aufweist, der näher an dem zweiten Objekt angeordnet ist und dessen konkave Seite auf das erste Objekt ausgerichtet ist, eine dritte Linsengruppe G3, die eine positive Brechkraft aufweist, eine vierte Linsengruppe G4, die eine insgesamt negative Brechkraft aufweist, welche vierte Linsengruppe G4 einen negativen Meniskus L41, der am näher am ersten Objekt angeordnet ist und dessen konkave Seite auf das zweite Objekt ausgerichtet ist, und eine plankonkave Linse L44 aufweist, die näher am zweiten Objekt angeordnet ist und deren konkave Seite auf das erste Objekt ausgerichtet ist, und eine fünfte Linsengruppe G5, die eine positive Linse L51, die näher am ersten Objekt angeordnet ist, und eine Blende auf der Seite der positiven Linse L51 aufweist, die näher am zweiten Objekt ist.

Die erste Linsengruppe G1 weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: eine plankonvexe Linse L11, deren konvexe Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L12, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, und eine positive Bikonvexlinse L13 und einen positiven Meniskus L14, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist. Die zweite Linsengruppe G2 weist in einer Reihenfolge beginnend der Seite der optischen Platte R auf: einen negativen Meniskus L21, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L21 mit einer stark konvexen Fläche, die auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine plankonkave Linse L23, deren konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine negative Bikonkavlinse L24, eine plankonkave Linse L25, deren konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, eine plankonvexe Linse L26, deren konvexe Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, und einen negativen Meniskus L27, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist.

Die dritte Linsengruppe G3 weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: einen positiven Meniskus L31 als ersten Meniskus, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L32 als zweiten Meniskus, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L33, einen positiven Meniskus als dritten Meniskus, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, und einen positiven Meniskus L35 als vierten Meniskus, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist.

Wie aus Fig. 5 ersichtlich, ist bei dem positiven Meniskus L31 in der dritten Linsengruppe G3 die dem ersten Objekt zugewandte Fläche S311 die Einfallsfläche und die dem zweiten Objekt zugewandte Fläche S312 die Ausfallsfläche. Bei dem positiven Meniskus L32 ist die dem ersten Objekt zugewandte Fläche S321 die Einfallsfläche und die dem zweiten Objekt zugewandte Fläche S322 die Ausfallsfläche. Bei der positiven Bikonvexlinse L33 ist die dem ersten Objekt zugewandte Fläche S331 die Einfallsfläche und die dem zweiten Objekt zugewandte Fläche S332 die Ausfallsfläche. Bei dem positiven Meniskus L34 ist die dem ersten Objekt zugewandte Fläche S341 die Einfallsfläche und die dem zweiten Objekt zugewandte Fläche S342 die Ausfallsfläche. Bei dem positiven Meniskus L35 ist die dem ersten Objekt zugewandte Fläche S351 die Einfallsfläche und die dem zweiten Objekt zugewandte Linsenfläche L352 die Ausfallsfläche.

Wie aus Fig. 4 ersichtlich, weist die vierte Linsengruppe G4 in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: einen negativen Meniskus L41, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L42, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine negative Bikonkavlinse L43 und eine Plankonvexlinse L44, deren konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist. Die fünfte

Linsengruppe weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte auf: eine bikonvexe Linse L51 mit einer stark konvexen Oberfläche, die auf den Wafer W ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L52, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, eine Blende AS, eine Bikonvexlinse L53, einen negativen Meniskus L54, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L55, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L56, einen positiven Meniskus L57, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L58, dessen konvexe Seite auf die optischen Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L59, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L510, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L511, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, und eine plankonkave Linse L512, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist.

Aus Tabelle 1 sind die Werte der einzelnen Parameter für die oben beschriebene erste Ausführungsform der Erfindung ersichtlich. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, geben die Zahlen in der Spalte ganz links die Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes (Seite der optischen Platte) an,  $r$  ist der Krümmungsradius der Linsenfläche (0.000 entspricht in dieser Tabelle unendlich),  $d$  ist der Abstand zwischen den Linsenflächen,  $n$  ist der Brechungsindex des optischen Materials, wenn die Beleuchtungswellenlänge  $\lambda$  365 nm beträgt,  $\emptyset$  ist der effektive Durchmesser eines jeden Linsenelementes,  $E$  ist das Expansionsverhältnis des optischen Materials der Linsenelemente,  $dn/dt$  ist der thermische Brechungsindexkoeffizient des optischen Materials der Linsenelemente, und  $D$  ist der Abstand vom Flansch bis zum Auflagepunkt eines jeden Linsenelementes. Ferner ist in Tabelle 1,  $dO$  der Abstand von dem ersten Objekt (optische Platte) zu der nächstgelegenen Linsenfläche auf der Seite des ersten Objektes (Seite der optischen Platte) und  $Bf$  ist der Abstand von der Linsenfläche, die am nächsten am zweiten Objekt (Wafer) liegt zu demselben. Bei dem optischen Projektionssystem gemäß der ersten, aus Fig. 4 ersichtlichen Ausführungsform der Erfindung, beträgt der Abstand  $L$  zwischen dem Objekt und dem Bild (der Abstand zwischen der Objektfläche und der Bildfläche entlang der optischen Achse) 1200, die numerische Apertur auf der Bildseite beträgt 0,62, die Projektionsvergrößerung  $B$  beträgt  $-1/5$ , und der Durchmesser des Beleuchtungsfeldes am Wafer W beträgt 31,2.

Tabelle 1

(in den Spalten für E und  $dn/dt$  bedeutet die Schreibweise  $a \times 10^{-b}$  :  $a \cdot 10^{-b}$ )

$$dO = 89.650$$

$$Bf = 21.655$$

10

	r	d	n	$\phi$	E	dn/dt	D	
	1	0.000	24.000	1.61548	178.197	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-694.728
15	2	-531.881	0.500		180.687			
	3	1104.059	18.000	1.61265	181.138	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-662.352
	4	255.431	5.483		179.922			
20	5	327.711	35.384	1.48858	180.689	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-639.286
	6	-359.443	0.500		181.588			
	7	185.781	30.655	1.61548	176.930	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-593.691
	8	1322.182	1.132		171.629			
25	9	168.786	20.000	1.61265	158.656	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-564.219
	10	119.569	21.502		139.546			
	11	1072.143	19.611	1.48858	138.873	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-540.573
30	12	-360.000	0.538		134.563			
	13	0.000	11.778	1.61548	128.763	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-514.976
	14	109.248	22.806		114.851			
	15	-326.667	19.026	1.61548	114.746	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-483.735
35	16	265.643	29.341		117.512			
	17	-173.435	16.906	1.61548	122.659	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-443.206
	18	0.000	1.476		138.433			
40	19	0.000	28.000	1.61265	139.865	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-417.086
	20	-222.691	35.745		148.448			
	21	-111.227	20.000	1.61265	156.260	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-386.305
	22	-192.996	0.633		184.087			
45	23	-279.097	29.000	1.61548	190.595	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-353.519
	24	-161.834	0.500		199.934			
	25	-1975.662	28.206	1.61548	214.220	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-310.032
50	26	-309.687	0.500		217.778			
	27	440.594	30.177	1.61548	219.590	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-266.369
	28	-880.644	0.500		218.048			
	29	238.555	28.012	1.61548	205.015	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-224.68
55	30	767.881	0.500		198.020			
	31	194.345	25.000	1.48858	183.229	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-192.323
	32	276.460	4.315		169.007			

60

65

	r	d	n	$\phi$	E	dn/dt	D	
33	347.485	15.000	1.61265	167.559	$6.1 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-180.576	
34	279.555	6.194		154.365				5
35	431.474	15.091	1.61548	152.216	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-154.189	
36	115.261	32.234		130.700				
37	-206.306	11.776	1.61265	130.129	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-122.424	
38	243.147	29.754		130.481				10
39	-120.027	42.742	1.61265	131.003	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-79.516	
40	0.000	1.000		174.761				
41	1483.642	42.880	1.48858	179.469	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-31.343	15
42	-179.843	1.416		189.009				
43	-2788.744	30.003	-1.48858	201.840	$-16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	0.615	
44	-265.715	0.846		205.689				
45	0.000	8.000		206.470	(Aperture Stop A S)			20
46	380.423	36.200	1.61265	214.892	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	59.832	
47	-486.693	9.223		215.329				
48	-297.922	20.000	1.61265	215.089	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	89.869	25
49	-543.660	5.000		220.007				
50	322.369	20.000	1.61265	220.834	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	146.184	
51	202.379	15.117		212.877				
52	357.384	33.000	1.61548	212.280	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	172.341	30
53	-2968.481	0.500		212.838				
54	199.918	33.785	1.48858	209.863	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	215.379	
55	772.323	0.500		204.987				35
56	159.448	35.451	1.48858	191.211	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	260.105	
57	254.318	0.500		175.354				
58	129.479	42.998	1.48858	163.255	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	288.627	
59	4229.259	0.500		147.182				40
60	1082.306	15.000	1.61265	142.777	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	308.249	
61	74.634	28.943		106.093				
62	78.815	28.615	1.61541	93.187	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	354.506	45
63	3000.000	2.102		81.008				
64	0.000	15.007	1.61265	77.889	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	354.506	
65	820.248	(Bf)		64.145				50

Aus Tabelle 2 sind entsprechende Werte für die Bedingungen (1) bis (18) und (21) bis (25) gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich.

55

60

65



Tabelle 2

	(1) 0.062 $\mu\text{m}$
	(2) 0.014 $\mu\text{m}$
5	(3) 0.439 $\mu\text{m}$
	(4) 0.047 $\mu\text{m}$
	(5) 0.035 $\mu\text{m}$
	(6) 0.009 $\mu\text{m}$
	(7) 0.021 $\mu\text{m}$
10	(8) 0.729 $\mu\text{m}$
	(9) 0.312 $\mu\text{m}$
	(10) 0.050 $\mu\text{m}$
	(11) 0.245 $\mu\text{m}$
	(12) 0.343 $\mu\text{m}$
15	(13) 0.017 $\mu\text{m}$
	(14) 0.143 $\mu\text{m}$
	(15) 0.195 $\mu\text{m}$
	(16) 0.018 $\mu\text{m}$
	(17) 0.039 $\mu\text{m}$
20	(18) 0.067 $\mu\text{m}$
	(21) 0.169
	(22) -0.059
	(23) 0.103
	(24) -0.046
25	(25) 0.143

Aus Tabelle 3 sind entsprechende Werte für die Bedingungen (19) und (20) gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich.

Tabelle 3

	Oberflächen- nummer	Werte für Bedingung (19)	Werte für Bedingung (20)
30			
35			
40	23	0.037	0.013
	24	0.222	0.876
	25	0.082	0.704
45	26	0.166	0.839
	27	0.139	1.102
	28	0.167	0.872
50	29	0.116	0.908
	30	0.139	0.793
	31	0.041	0.086
55	32	0.093	0.442

Das optische Projektionssystem PL gemäß der zweiten, aus Fig. 6 ersichtlichen Ausführungsform der Erfindung, weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes auf:

die erste Linsengruppe G1 mit positiver Brechkraft, die zweite Linsengruppe G2 mit insgesamt negativer Brechkraft, welche Linsengruppe G2 einen negativen Meniskus L21, der so angeordnet ist, daß er näher am ersten Objekt steht und dessen konkave Seite auf das zweite Objekt ausgerichtet ist, und einen negativen Meniskus L27 aufweist, der näher am zweiten Objekt angeordnet ist und dessen konkave Seite auf das erste Objekt ausgerichtet ist, die dritte Linsengruppe G3 mit einer positiven Brechkraft, die vierte Linsengruppe G4 mit einer insgesamt negativen Brechkraft, die einen negativen Meniskus L41, der näher am ersten Objekt angeordnet ist und dessen konkave Seite auf das zweite Objekt ausgerichtet ist, und einen negativen Meniskus L44 aufweist, der näher am zweiten Objekt angeordnet ist, und dessen konkave Seite auf das erste Objekt

ausgerichtet ist, und die fünfte Linsengruppe G5, die eine positive Linse L51, die näher am ersten Objekt angeordnet ist, und eine Blende aufweist, die auf der Seite der positiven Linse L51 angeordnet ist, die näher am zweiten Objekt liegt.

Die erste Linsengruppe G1 mit positiver Brechkraft weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: eine positive Bikonvexlinse L11, eine Bikonkavlinse L12 mit einer stark konkaven Fläche, die auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L13 und eine Bikonvexlinse L14 mit einer stark konvexen Fläche, die auf die optische Platte R ausgerichtet ist. Die zweite Linsengruppe G2 weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: einen negativen Meniskus L21, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L22, eine negative Plankonkavlinse L23 mit einer stark konkaven Fläche, die auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine negative Bikonkavlinse L24, eine negative Plankonkavlinse L25 mit einer stark konkaven Fläche, die auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen konvexen Meniskus L26 mit einer stark konvexen Fläche, die auf den Wafer W ausgerichtet ist, und einen negativen Meniskus L27, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist.

Die dritte Linsengruppe G3 weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: einen positiven Meniskus L31 als ersten Meniskus, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L32 als zweiten Meniskus, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L33, einen positiven Meniskus L34 als dritten Meniskus, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, und einen positiven Meniskus L35 als vierten Meniskus, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist.

Die vierte Linsengruppe G4 weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: einen negativen Meniskus L41, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L42, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine negative Bikonkavlinse L43 und einen konkaven Meniskus L44, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist.

Die fünfte Linsengruppe G5 weist in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte R auf: einen positiven Meniskus L51, dessen konvexe Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L52, dessen konvexe Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine Blende AS, eine positive Bikonvexlinse L53, einen negativen Meniskus L52, dessen konkave Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L55, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, eine positive Bikonvexlinse L56, einen positiven Meniskus L57, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L58, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L59, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, einen negativen Meniskus L510, dessen konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist, einen positiven Meniskus L511, dessen konvexe Seite auf die optische Platte R ausgerichtet ist, und eine plankonkave Linse L512, deren konkave Seite auf den Wafer W ausgerichtet ist.

Aus Tabelle 4 sind die Werte der einzelnen Parameter für die oben beschriebene erste Ausführungsform der Erfindung ersichtlich. Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, geben die Zahlen in der Spalte ganz links die Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes (Seite der optischen Platte) an,  $r$  ist der Krümmungsradius der Linsenfläche (0,000 entspricht in dieser Tabelle unendlich),  $d$  ist der Abstand zwischen den Linsenflächen,  $n$  ist der Brechungsindex des optischen Materials, wenn die Beleuchtungswellenlänge  $\lambda$  365 nm beträgt,  $\emptyset$  ist der effektive Durchmesser eines jeden Linsenelementes,  $E$  ist das Expansionsverhältnis des optischen Materials der Linsenelemente,  $dn/dt$  ist der thermische Brechungsindexkoeffizient des optischen Materials der Linsenelemente, und  $D$  ist der Abstand vom Flansch bis zum Auflagepunkt eines jeden Linsenelementes. Ferner ist in Tabelle 4,  $dO$  der Abstand von dem ersten Objekt (optische Platte) zu der nächstgelegenen Linsenfläche auf der Seite des ersten Objektes (Seite der optischen Platte) und  $Bf$  ist der Abstand von der Linsenfläche, die am nächsten am zweiten Objekt (Wafer) liegt, zu demselben. Bei dem optischen Projektionssystem gemäß der zweiten, aus Fig. 6 ersichtlichen Ausführungsform der Erfindung, beträgt der Abstand  $L$  zwischen dem Objekt und dem Bild (der Abstand zwischen der Objektoberfläche und der Bildoberfläche entlang der optischen Achse) 1200, die numerische Apertur auf der Bildseite beträgt 0,57, die Projektionsvergrößerung  $B$  beträgt  $-1/5$ , und der Durchmesser des Beleuchtungsfeldes am Wafer W beträgt 31,2.

Tabelle 4

(in den Spalten für E und dn/dt bedeutet die Schreibweise  $a \times 10^{-b}$  :  $a \cdot 10^{-b}$ )

5	dO = 89.650 Bf = 21.655							
10		r	d	n	$\phi$	E	dn/dt	D
	1	555.188	24.000	1.61548	178.494	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-692.683
	2	-631.380	0.500		178.675			
	3	-1314.268	15.000	1.61265	178.104	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-668.247
15	4	308.194	9.512		176.852			
	5	799.387	36.000	1.48858	177.316	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-637.495
	6	-337.323	0.500		179.829			
20	7	392.053	24.352	1.61548	178.199	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-603.455
	8	-1296.268	1.132		175.750			
	9	164.687	43.000	1.61265	164.038	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-557.639
25	10	132.580	12.823		136.056			
	11	308.675	25.125	1.48858	135.393	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-524.551
	12	-346.757	0.538		130.437			
	13	0.000	11.778	1.61548	124.203	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-500.268
30	14	109.864	22.886		109.911			
	15	-245.687	19.026	1.61548	109.537	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-468.416
	16	249.948	29.177		111.375			
35	17	-133.699	16.906	1.61548	115.225	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-428.042
	18	0.000	1.840		133.121			
	19	-3783.753	28.000	1.61265	134.418	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-402.53
40	20	-184.592	46.411		143.127			
	21	-112.744	21.759	1.61265	157.111	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-359.85
	22	-170.639	0.937		183.154			
	23	-331.042	29.000	1.61548	193.566	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-321.65
45	24	-175.469	0.601		201.889			
	25	-2161.494	26.575	1.61548	212.404	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-281.02
	26	-325.080	0.500		215.162			
50	27	555.883	26.228	1.61548	214.695	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-240.46
	28	-1325.450	0.500		212.868			
	29	232.785	28.012	1.61548	202.703	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-201.29
	30	737.420	0.510		196.084			
55	31	171.317	25.000	1.48858	180.462	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-168.643
	32	263.216	4.647		168.225			
	33	334.109	15.000	1.61265	166.715	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-151.334
60	34	147.477	6.194		146.515			
	35	179.817	15.874	1.61548	145.159	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	-128.080
	36	118.970	31.868		130.156			
65	37	-243.708	11.776	1.61265	128.421	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-99.096

	r	d	n	$\phi$	E	dn/dt	D	
38	295.224	28.997		126.918				
39	-118.373	15.239	1.61265	127.550	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	-70.965	5
40	-816.863	23.427		145.176				
41	-1141.486	33.144	1.48858	165.190	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	-18.230	
42	-176.634	0.500		173.223				10
43	-891.966	23.434	1.48858	179.942	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	6.044	
44	-268.530	10.149		183.581				
45	0.000	5.000		184.271	(Aperture Stop A S)			15
46	696.535	41.200	1.61548	188.228	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	68.129	
47	-294.506	4.852		189.845				
48	-250.731	18.000	1.61265	189.600	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	97.299	20
49	-506.743	0.500		195.822				
50	415.632	18.000	1.61265	198.709	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	136.418	
51	267.230	6.950		196.095				
52	374.561	35.000	1.61548	196.561	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	167.014	25
53	-9613.854	0.500		196.280				
54	264.692	24.937	1.48858	195.612	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	200.03	
55	672.783	0.500		191.953				
56	160.583	41.955	1.48858	185.603	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	240.09	30
57	848.012	0.500		175.081				
58	121.040	39.977	1.48858	154.843	$16.3 \times 10^{-5}$	$-4.6 \times 10^{-5}$	279.23	
59	742.443	0.500		138.301				35
60	888.126	15.036	1.61265	138.352	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	296.10	
61	76.259	36.011		105.360				
62	82.754	32.442	1.61548	90.414	$6.1 \times 10^{-5}$	$7.5 \times 10^{-5}$	350.54	40
63	31489.489	1.286		75.130				
64	0.000	16.135	1.61265	73.228	$11.0 \times 10^{-5}$	$5.8 \times 10^{-5}$	378.19	
65	527.377	(Bf)		59.584				45

Aus Tabelle 5 sind entsprechende Werte für die Bedingungen (1) bis (18) und (21) bis (25) gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich.

Tabelle 5

(1) 0.002 $\mu\text{m}$	
(2) 0.005 $\mu\text{m}$	
(3) 0.427 $\mu\text{m}$	55
(4) 0.044 $\mu\text{m}$	
(5) 0.076 $\mu\text{m}$	
(6) 0.004 $\mu\text{m}$	
(7) 0.006 $\mu\text{m}$	
(8) 0.691 $\mu\text{m}$	60
(9) 0.258 $\mu\text{m}$	
(10) 0.081 $\mu\text{m}$	
(11) 0.307 $\mu\text{m}$	
(12) 0.347 $\mu\text{m}$	
(13) 0.014 $\mu\text{m}$	65
(14) 0.143 $\mu\text{m}$	
(15) 0.234 $\mu\text{m}$	
(16) 0.008 $\mu\text{m}$	

- (17) 0.003  $\mu\text{m}$   
 (18) 0.001  $\mu\text{m}$   
 (21) 0.230  
 (22) - 0.079  
 5 (23) 0.107  
 (24) - 0.054  
 (25) 0.128

10 Aus Tabelle 6 sind entsprechende Werte für die Bedingungen (19) und (20) gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich.

Tabelle 6

15	Oberflächen- nummer	Werte für Bedingung (19)	Werte für Bedingung (20)
20	23	0.040	0.118
	24	0.218	0.913
25	25	0.062	0.536
	26	0.172	0.883
	27	0.093	0.847
30	28	0.130	0.824
	29	0.135	1.056
	30	0.122	0.775
35	31	0.088	0.674
	32	0.083	0.314

40 Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die Fig. 7 bis 16 der Betrieb des optischen Projektionssystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung bzw. der zweiten Ausführungsform der Erfindung bei geänderter Umgebungsdruck und geänderter Umgebungstemperatur in Verbindung mit graphisch dargestellten Daten diskutiert. Was die Modulationstransferfunktion MTF und die Aberrationen angeht, die erzeugt werden, wenn aufgrund einer Änderung der Umgebungsdrucks sich auch der Druck in den einzelnen Luftspalten  
 45 zwischen den Linsenelementen des optischen Projektionssystems PL ändert, basieren die dargestellten Daten auf den Brechungsindices dieser Luftspalte. Für die MTF und die Aberrationen, die auftreten, wenn sich die Umgebungstemperatur ändert, basieren die dargestellten Daten auf Linsendaten, die gemäß der unten dargestellten, voneinander abhängigen Ausdrücken (A)–(E) berechnet wurden.

Was die Änderungen von Linsenparametern angeht, wenn sich die Temperatur ändert, kann, wie aus Fig. 2  
 50 ersichtlich, mit dieser Ausführungsform der Abstand zwischen dem Flansch FL und der optischen Platte R konstant gehalten werden, da der Flansch FL des Objektivtubus LB von der Halterung CA des Hauptkörpers der Projektionsbelichtungsvorrichtung gehalten wird. Dies ermöglicht es, daß die Position der optischen Platte R auf der optischen Achse selbst bei geänderter Umgebungstemperatur frei änderbar ist. Wie aus Fig. 2  
 55 ersichtlich, sind der Objektivtubus LB, die Halterungen H1–H5 und die Abstandshalter SP1–SP5 alle aus dem gleichen Material. Der Krümmungsradius auf der Seite des ersten Objektes (auf der Seite der optischen Platte R) der Linsenfläche des aus Fig. 2 ersichtlichen Linsenelementes G1 in einer idealen Umgebung ist  $r_{11}$ , der Krümmungsradius auf der Seite des zweiten Objektes (auf der Seite des Wafers W) der Linsenfläche des Linsenelementes G1 unter idealen Bedingungen ist  $r_{12}$ , die Linsendicke des Linsenelementes G1 unter idealen Bedingungen ist  $t_1$ , der Abstand entlang der optischen Achse zwischen dem Haltepunkt, an dem die Halterung  
 60 H1 das Linsenelement G1 unterstützt, und dem Flansch FL unter idealen Bedingungen ist  $d_1$ , der Brechungsindex der optischen Bauelemente des Linsenelementes G1 unter idealen Bedingungen ist  $n_1$ , der Expansionskoeffizient des Linsenelementes G1 ist  $E_1$ , der Expansionskoeffizient der Bauelemente des Objektivtubus LB, der Halterungen H1–H5 und der Abstandshalter SP1–SP5 ist  $E_M$ , und der thermische Brechungsindexkoeffizient der optischen Bauelemente des Linsenelementes G1 ist  $(dn/dT)_1$ .

65 Wenn sich die Temperatur um  $+T^\circ\text{C}$  ändert, sind der Krümmungsradius  $r_{11}'$  auf der Seite des ersten Objektes der Linsenfläche des Linsenelementes G1, der Krümmungsradius  $r_{12}'$  der Linsenfläche auf der Seite des zweiten Objektes des Linsenelementes G1, die Linsendicke  $t_1'$  des Linsenelementes G1, der Abstand  $d_1'$  entlang der optischen Achse zwischen dem Haltepunkt, an dem die Halterung das Linsenelement G1 und den

Flansch FL unterstützt, und der Brechungsindex  $n1'$  der optischen Bauelemente des Linsenelementes G1 jeweils folgendermaßen:

$$r11' = r11 + r11 \times E1 \times T$$

$$t1' = t1 + t1 \times E1 \times T$$

$$r21' = r21 + r21 \times E1 \times T$$

$$d1' = d1 + d1 \times EM \times T$$

$$n1' = n1 + (dn/dT)_1 \times T.$$

Gleichermaßen ist für das  $m$ -te ( $m$  ganzzahlig) Linsenelement G $m$  der Krümmungsradius der Linsenfläche des Linsenelementes G $m$  auf der Seite des ersten Objektes (Seite der optischen Platte R) unter idealen Bedingungen  $rm1$ , der Krümmungsradius der Linsenfläche des Linsenelementes G $m$  auf der Seite des zweiten Objektes (auf der Seite des Wafers W) unter idealen Bedingungen ist  $rm2$ , die Linsendicke des Linsenelementes G $m$  unter idealen Bedingungen ist  $tm$ , der Abstand entlang der optischen Achse zwischen dem Haltepunkt, an dem die Halterung H $m$  das Linsenelement G $m$  unterstützt, und dem Flansch FL unter idealen Bedingungen ist  $dm$ , der Brechungsindex der optischen Bauteile des Linsenelementes G $m$  unter idealen Bedingungen ist  $nm$ , der Expansionskoeffizient des Linsenelementes G $m$  ist  $Em$ , der Expansionskoeffizient der Bauteile des Objektivtubus LB, der Halterungen und der Abstandshalter ist  $EM$  und der Temperaturkoeffizient der optischen Bauteile des Linsenelementes G $m$  ist  $(dn/dT)_m$ .

Wenn sich die Temperatur um  $+T^\circ$  ändert, ist der Krümmungsradius  $rm1'$  auf der Seite des ersten Objektes der Linsenfläche des Linsenelementes G $m$ , der Krümmungsradius  $rm2'$  der Linsenfläche auf der Seite des zweiten Objektes des Linsenelementes G $m$ , die Linsendicke  $tm'$  des Linsenelementes G $m$ , der Abstand  $dm'$  entlang der optischen Achse zwischen dem Haltepunkt, an dem die Halterung das Linsenelementes G $m$  und den Flansch FL unterstützt, und der Brechungsindex  $nm'$  der optischen Bauelemente des Linsenelementes G $m$  jeweils folgendermaßen:

$$(A) \quad rm1' = rm1 + rm1 \times Em \times T$$

$$(B) \quad tm' = tm + tm \times Em \times T$$

$$(C) \quad r2m' = r2m + rm2 \times Em \times T$$

$$(D) \quad dm' = dm + dm \times EM \times T$$

$$(E) \quad nm' = nm + (dn/dT)_m \times T.$$

Wenn eine Temperaturänderung auftritt, berechnen sich die Parameter eines jeden Linsenelementes bei der geänderten Temperatur auf Basis der o.a. Bedingungen (A) bis (E), und die MTF und die Aberrationen werden unter Verwendung der aus der ersten Berechnung erhaltenen Resultate berechnet. Bei dem aus Fig. 3 ersichtlichen Beispiel können die oben angegebenen Bedingungen angewendet werden, wenn die Unterobjektivtuben LB1—LB5 und die Abstandshalter SP1—SP5 aus dem gleichen Material sind.

Um die Arbeitsweise der ersten Ausführungsform der Erfindung zu illustrieren, ist aus Fig. 7 ein Graph einer inkohärenten MTF gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich, die unter idealen Bedingungen in fokale Richtung aufgenommen wurde. Wie aus Fig. 7 ersichtlich, ist entlang der Ordinate des Graphen der MTF-Kontrast aufgetragen und entlang der Abszisse des Graphen die Defokussierung aufgetragen; T und R stellen die tangentielle Richtung bzw. die radiale Richtung dar. Aus Fig. 8 ist die MTF gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich, wenn sich der Umgebungsdruck um  $-100$  mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat. Wie aus Fig. 7 und 8 klar ersichtlich, tritt gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung praktisch keine Verschlechterung des Bildkontrastes aufgrund einer Änderung des Umgebungsdrucks auf.

Aus den Fig. 9A—9D sind verschiedene Aberrationen des optischen Projektionssystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen ersichtlich. Fig. 9A ist ein Graph der sphärischen Aberration, Fig. 9B ist ein Graph des Astigmatismus, Fig. 9C ist ein Graph der Verzerrung und Fig. 9D ist ein Graph, aus dem die laterale Aberration in tangentialer Richtung und in sagittaler Richtung bei 100%, 70% und 0% Bildhöhe ersichtlich sind. Aus den Fig. 10A—10D sind verschiedene Aberrationen des optischen Projektionssystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung unter Bedingungen ersichtlich, bei denen sich der Umgebungsdruck um  $-30$  mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat. Aus Fig. 10A ist ein Graph der sphärischen Aberration, aus Fig. 10B ist ein Graph des Astigmatismus, aus Fig. 10C ist ein Graph ersichtlich, der die Verzerrung zeigt, und aus Fig. 10D sind Graphen ersichtlich, die die laterale Aberration in tangentialer Richtung und in sagittaler Richtung bei 100%, 70% und 0% Bildhöhe zeigen.

Aus Tabelle 7 sind der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration, der Betrag der Änderung der Koma, der Betrag der Änderung der Bildhöhe und der Betrag der Änderung der meridionalen Bildfläche für die erste Ausführungsform der Erfindung unter Bedingungen ersichtlich, bei denen sich der Umgebungsdruck um  $-30$  mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat.

Tabelle 7

sphärische Aberration:  $0,062 \mu m$

Bildhöhe: 0,143  $\mu\text{m}$   
Meridionale Bildfläche: -0,010  $\mu\text{m}$   
Koma: 0,014  $\mu\text{m}$ .

5 Aus den Fig. 9A-9D, 10A-10D und aus Tabelle 7 ist klar ersichtlich, daß fast keine von einer Druckänderung herrührende Änderungen der sphärischen Aberration bzw. der Koma in dem optischen Projektionssystem gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung auftreten, und daß die Feldkrümmung ebenfalls auf einem geringen Wert gehalten wird.

10 Aus Tabelle 8 sind Änderungen der Aberrationen von den idealen Bedingungen ersichtlich, wenn sich der Druck in einem Teil der Luftpalte des optischen Systems verändert, um die Vergrößerung der Vorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung zu korrigieren. Insbesondere wird der Druck in dem Spalt zwischen den Flächen mit den Nummern 15 und 16 gemäß oben angegebener Tabelle 1 mit Hilfe der Drucksteuervorrichtung PC um -53,9 mmHg geändert.

Tabelle 8

15 Sphärische Aberration: 0,040  $\mu\text{m}$   
Bildhöhe: 0,001  $\mu\text{m}$   
Meridionale Bildfläche: -0,028  $\mu\text{m}$   
Koma: 0,016  $\mu\text{m}$ .

20 Somit kann mit Hilfe einer Vergrößerungskorrektion unter Verwendung der Drucksteuervorrichtung PC, die unter idealen Bedingungen erzielte Leistung aufrechterhalten werden, obwohl der Umgebungsdruck bei der tatsächlichen Verwendung stark verändert ist (-30 mmHg).

25 Aus den Fig. 11A-11D sind verschiedene Aberrationen des optischen Projektionssystems gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung unter Bedingungen ersichtlich, bei denen die Temperatur um 3°C gegenüber den idealen Bedingungen geändert ist. Aus Fig. 11A ist ein Graph der sphärischen Aberration, aus Fig. 11B ist ein Graph des Astigmatismus, aus Fig. 11C ist ein Graph der Verzerrung und aus Fig. 11D ist ein Graph ersichtlich, in dem die lateralen Aberrationen in tangentialer Richtung und in sagittaler Richtung bei 100%, 70% und 0% Bildhöhe gezeigt sind.

30 Aus Tabelle 9 ist der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration, der Betrag der Änderung der Koma, der Betrag der Änderung der Bildhöhe und der Grad der Änderung der meridionalen Bildfläche für die Vorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung unter Bedingungen ersichtlich, bei denen die Temperatur um 3°C gegenüber den idealen Bedingungen geändert ist.

Tabelle 9

35 Sphärische Aberration: -0,439  $\mu\text{m}$   
Bildhöhe: 0,009  $\mu\text{m}$   
Meridionale Bildfläche: 0,035  $\mu\text{m}$   
Koma: -0,047  $\mu\text{m}$ .

40 Aus den Fig. 9A-9D, 11A-11D und aus Tabelle 8 ist klar ersichtlich, daß das optische Projektionssystem gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung die unter idealen Bedingungen erzielte Leistung auch trotz einer Temperaturänderung von 3°C aufrechterhalten kann.

45 Aus Fig. 12 ist ein Graph einer inkohärenten, in fokaler Richtung aufgenommenen MTF gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen ersichtlich. Fig. 13 ist ein Graph der gleichen MTF, wenn sich bei dieser Ausführungsform der Umgebungsdruck um 100 mmHg geändert hat.

Aus den Fig. 12 und 13 ist deutlich ersichtlich, daß fast keine Verschlechterung des Bildkontrastes aufgrund einer Änderung des Umgebungsdrucks bei der zweiten Ausführungsform der Erfindung auftritt.

50 Aus den Fig. 14A-14D sind verschiedene Aberrationen des optischen Projektionssystems gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung unter idealen Bedingungen ersichtlich. Fig. 14A ist ein Graph der sphärischen Aberration, Fig. 14B ist ein Graph des Astigmatismus, Fig. 14C ist ein Graph der Verzerrung und Fig. 14D ist ein Graph, der die lateralen Aberrationen in tangentialer Richtung bzw. in sagittaler Richtung bei 100%, 70% und 0% Bildhöhe zeigt. Aus den Fig. 15A-15D sind verschiedene Aberrationen des optischen Projektionssystems gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung unter Bedingungen ersichtlich, bei denen der Druck um -3 mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert ist. Fig. 15A ist ein Graph der sphärischen Aberration, 55 Fig. 15B ist ein Graph des Astigmatismus, Fig. 15C ist ein Graph der Verzerrung und Fig. 15D ist ein Graph, der die lateralen Aberrationen in tangentialer Richtung bzw. in sagittaler Richtung bei 100%, 70% und 0% Bildhöhe zeigt.

60 Aus Tabelle 10 sind der Grad der Änderung der sphärischen Aberration, der Grad der Änderung der Koma, der Grad der Änderung der Bildhöhe und der Grad der Änderung der meridionalen Bildfläche unter Bedingungen ersichtlich, bei denen sich der Druck um -30 mmHg gegenüber den idealen Bedingungen geändert ist.

Tabelle 10

#### Zweite Ausführungsform

65 Sphärische Aberration: -0,002  $\mu\text{m}$   
Bildhöhe: 0,133  $\mu\text{m}$   
Meridionale Bildfläche: 0,021  $\mu\text{m}$



Koma: 0,005  $\mu\text{m}$ .

Aus den Fig. 14A—14D, 15A—15D und Tabelle 10 ist deutlich ersichtlich, daß fast keine Änderung des Betrags der von einer Druckänderung herrührenden sphärischen Aberration oder der Koma in dem optischen Projektionssystem gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung auftritt, und daß die Änderung der Feldkrümmung klein gehalten wird.

Aus Tabelle 11 sind die Änderungen des Betrags der Aberrationen von den Idealwerten ersichtlich, nachdem der Druck in einem Bereich der Luftspalte in dem optischen System verändert wurde, um die Vergrößerung der Vorrichtung gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung zu korrigieren, wobei die Drucksteuervorrichtung PC den Druck in dem Spalt zwischen den Flächen mit den Nummern 15 und 16 gemäß oben angegebener Tabelle 2 steuert.

Tabelle 11

Sphärische Aberration:  $-0,021 \mu\text{m}$

Bildhöhe:  $0,001 \mu\text{m}$

Meridionale Bildfläche:  $0,000 \mu\text{m}$

Koma:  $0,006 \mu\text{m}$ .

Somit kann mit Hilfe einer Vergrößerungskorrektur unter Verwendung der Drucksteuervorrichtung PC, die unter idealen Bedingungen erzielte Leistung aufrechterhalten werden, obwohl der Umgebungsdruck bei der tatsächlichen Verwendung stark verändert ist ( $-30 \text{ mmHg}$ ).

Aus den Fig. 16A—16D sind verschiedene Aberrationen des optischen Projektionssystems gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung unter Bedingungen ersichtlich, wenn sich die Temperatur um  $3^\circ\text{C}$  gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat. Fig. 16A ist ein Graph der sphärischen Aberration, Fig. 16B ist ein Graph des Astigmatismus, Fig. 16C ist ein Graph der Verzerrung und Fig. 16D ist ein Graph, der die laterale Aberration in tangentialer Richtung bzw. in sagittaler Richtung bei 100%, 70% und 0% Bildhöhe zeigt.

Aus Tabelle 12 sind die Änderung des Betrags der sphärischen Aberration, die Änderung des Betrags der Koma, der Änderung des Betrags der Bildhöhe und der Änderung des Betrags der meridionalen Bildfläche gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung ersichtlich, wenn sich die Temperatur um  $3^\circ\text{C}$  gegenüber den idealen Bedingungen geändert hat.

Tabelle 12

Sphärische Aberration:  $-0,427 \mu\text{m}$

Bildhöhe:  $-0,004 \mu\text{m}$

Meridionale Bildfläche:  $-0,076 \mu\text{m}$

Koma:  $0,044 \mu\text{m}$ .

Aus den Fig. 14A—14D, 16A—16D und aus Tabelle 12 ist klar ersichtlich, daß das optische Projektionssystem gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung die unter idealen Bedingungen erzielte Leistung auch dann aufrechterhalten kann, wenn sich die Temperatur um  $3^\circ\text{C}$  geändert hat.

Die optischen Projektionssysteme gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung bzw. der zweiten Ausführungsform der Erfindung weisen eine große numerische Apertur von wenigstens 0,55 auf der Bildseite und ein großes Beleuchtungsfeld von wenigstens 30 mm auf der Seite des zweiten Objektes auf, und ihre Abbildungseigenschaften sowohl unter idealen Bedingungen als auch unter veränderten Druckbedingungen oder unter veränderten Temperaturbedingungen sind hervorragend.

Bei der Verwendung dieses optischen Projektionssystems mit einer Projektionsbelichtungsvorrichtung wie aus Fig. 1 ersichtlich, können Schaltungsmuster von einer optischen Platte nicht nur unter idealen Bedingungen, sondern auch unter von diesen idealen Bedingungen stark abweichenden Bedingungen exakt übertragen werden.

Während bei den oben beschriebene Ausführungsformen jeweils eine Quecksilberdampflampe verwendet wird, welche die i-Linie (365 nm) als Beleuchtungslichtquelle verwendet, ist die Erfindung auch mit anderen Lichtquellen, wie mit Quecksilberdampflampen, die die g-Linie (465 nm) als Beleuchtungslicht verwenden, oder im höherenergetischen UV-Bereich strahlende Lichtquellen, wie Excimer-Laser, die Wellenlänge von 193 nm oder 248 nm liefern, verwendbar. Das erfindungsgemäße optische Projektionssystem ist für eine Vielzahl von Lithographiesystemen anwendbar, einschließlich jedoch nicht beschränkt auf sogenannte "step-and-repeat"-Belichtungssysteme und sogenannte "step-and-scan"-Belichtungssysteme.

## Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsvorrichtung zum Übertragen eines auf einer optischen Platte (R) ausgebildeten Musters auf ein Substrat (W) mit:

einem optischen Beleuchtungssystem (IS), mit dem die optische Platte (R) gleichmäßig mit Licht einer Wellenlänge  $\lambda$  beleuchtbar ist;

einer ersten Halterung (RS), um die optische Platte (R) zu halten;

einer zweiten Halterung (WS), um das Substrat (W) zu halten; und

einem optischen Projektionssystem, das zwischen der optischen Platte und dem Substrat (W) angeordnet ist, wobei das optische Projektionssystem ein Strahlenbündel projiziert, das eine numerische Apertur von wenigstens 0,55 aufweist, wobei das optische Projektionssystem das Muster auf der von dem optischen Beleuchtungssystem (IS) beleuchteten optischen Platte (R) auf das Substrat (W) projiziert, während folgen-

de Bedingungen erfüllt sind:

$$|dSAp| < 0,3\lambda/(NA)^2$$

5  $|dCOMAp| < 0,3\lambda/(NA),$

wobei

dSAp der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems sich

10 um 30 mmHg geändert hat,

dCOMAp der Betrag der Änderung der Koma der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems um 30 mmHg geändert hat, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems ist.

15 2. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei das optische Projektionssystem in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte (R) aufweist: eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft.

20 3. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei das optische Projektionssystem eine Blende (AP) aufweist, die innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) angeordnet ist, wobei die dritte Linsengruppe (G3) einen ersten Meniskus und einen zweiten Meniskus aufweist, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Fläche jeweils auf die optische Platte (R) ausgerichtet ist, und einen dritten Meniskus und einen vierten Meniskus aufweisen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Fläche jeweils auf das Substrat (W) ausgerichtet ist, wobei ein Linsenelement mit maximalem effektiven Durchmesser der dritten Linsengruppe (G3) zwischen dem ersten Meniskus und dem vierten Meniskus angeordnet ist.

30 4. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Linsenelement mit dem maximalen effektiven Durchmesser auf der Seite der zweiten Meniskuslinse angeordnet ist, die näher am Substrat (W) ist, und auf der Seite des dritten Meniskus angeordnet ist, die näher an der optischen Platte (R) ist.

35 5. Projektionsbelichtungsvorrichtung zum Übertragen eines auf einer optischen Platte (R) ausgebildeten Musters auf ein Substrat (W) mit:  
einem optischen Beleuchtungssystem (IS), mit dem die optische Platte (R) mit Licht einer Wellenlänge  $\lambda$  gleichmäßig beleuchtbar ist;

einer ersten Halterung (RS) zum Halten der optischen Platte (R);

einer zweiten Halterung (WS) zum Halten des Substrats (W);

40 einem optischen Projektionssystem, das zwischen der optischen Platte (R) und dem Substrat (W) angeordnet ist, wobei das optische Projektionssystem ein Strahlenbündel mit einer numerischen Apertur von wenigstens 0,55 projiziert, wobei das optische Projektionssystem das Muster auf der von der optischen Beleuchtungsvorrichtung beleuchteten optischen Platte (R) auf das Substrat (W) projiziert, während folgende Bedingungen erfüllt sind:

$$|dSA_t| < 0,3\lambda/(NA)^2$$

45  $|dCOMA_t| < 0,3\lambda/(NA)$

$$|dMt| < 0,2\lambda/(NA)^2$$

$$|dY_t| < 0,05\lambda/(NA)$$

50 wobei

dSA<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

55 dCOMA<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Koma eines Strahls mit maximaler numerischer Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat;

dMt der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat;

60 dY<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat; und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems ist.

65 6. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 5, wobei das optische Projektionssystem in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte (R) aufweist: eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft.

7. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 6, wobei das optische Projektionssystem eine Blende

(AP) aufweist, die innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) angeordnet ist, wobei die dritte Linsengruppe (G3) einen ersten Meniskus und einen zweiten Meniskus aufweist, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Fläche jeweils auf die optische Platte (R) ausgerichtet ist, und einen dritten Meniskus und einen vierten Meniskus aufweisen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Fläche jeweils auf das Substrat (W) ausgerichtet ist, wobei ein Linsenelement mit maximalem effektiven Durchmesser der dritten Linsengruppe (G3) zwischen dem ersten Meniskus und dem vierten Meniskus angeordnet ist. 5

8. Projektionsbelichtungsanordnung nach Anspruch 5, wobei das optische Projektionssystem einen Objektiventubus (LB) aufweist, der eine Mehrzahl von Linsenelementen aufweist und folgende Bedingungen erfüllt: 10

$$|dSA_{t1}| < 0,9x\lambda/(NA)^2$$

$$|dSA_{t2}| < 0,9x\lambda/(NA)^2$$

$$|dSA_{t3}| < 0,9x\lambda/(NA)^2$$

$$|dCOMA_{t1}| < 0,9x\lambda/(NA)$$

$$|dCOMA_{t2}| < 0,9x\lambda/(NA)$$

$$|dCOMA_{t3}| < 0,9x\lambda/(NA)$$

$$|dM_{t1}| < 0,6x\lambda/(NA)^2$$

$$|dM_{t2}| < 0,6x\lambda/(NA)^2$$

$$|dM_{t3}| < 0,6x\lambda/(NA)^2$$

$$|dY_{t1}| < 0,15x\lambda/(NA)$$

$$|dY_{t2}| < 0,15x\lambda/(NA)$$

$$|dY_{t3}| < 0,15x\lambda/(NA),$$

wobei 35

$dSA_{t1}$  der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit maximaler numerischer Apertur des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn die Temperatur des optischen Projektionssystems sich um 3°C geändert hat,

$dSA_{t2}$  der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Änderung der Form optischer Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, 40

$dSA_{t3}$  der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektiventubus (LB) auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, 45

$dCOMA_{t1}$  der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur an der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, 50

$dCOMA_{t2}$  der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur an der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund einer Änderung der Form der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, 55

$dCOMA_{t3}$  der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit der maximalen numerischen Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektiventubus (LB) auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

$dM_{t1}$  der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, 60

$dM_{t2}$  der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund einer Änderung der Form der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, 65

$dM_{t3}$  der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektiventubus (LB) auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert

hat,  
 dYt1 der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Änderung des Brechungsindex der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,  
 dYt2 der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund einer Änderung der Form der optischen Bauteile der Linsenelemente auftritt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,  
 dYt3 ist der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, welche Änderung aufgrund der Expansion und Kontraktion des Objektivtubus (LB) auftritt, der die Linsenelemente trägt, wenn sich die Temperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,  
 $\lambda$  die Wellenlänge des von dem optischen Beleuchtungssystem (IS) kommenden Lichtes ist, und  
 NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems PL ist.  
 9. Projektionsbelichtungsanordnung nach Anspruch 8, wobei das optische Projektionssystem in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite der optischen Platte (R) aufweist: eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft und eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft.  
 10. Projektionsbelichtungsanordnung nach Anspruch 9, wobei das optische Projektionssystem eine Blende (AP) aufweist, die innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) angeordnet ist, wobei die dritte Linsengruppe (G3) einen ersten Meniskus und einen zweiten Meniskus aufweist, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Fläche jeweils auf die optische Platte (R) ausgerichtet ist, und einen dritten Meniskus und einen vierten Meniskus aufweisen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Fläche jeweils auf das Substrat (W) ausgerichtet ist, wobei ein Linsenelement mit maximalem effektiven Durchmesser der dritten Linsengruppe (G3) zwischen dem ersten Meniskus und dem vierten Meniskus angeordnet ist.  
 11. Optisches Projektionssystem, das ein Bild eines ersten Objektes (R) auf ein zweites Objekt (W) projiziert, wobei das System in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes (R) aufweist: eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft, eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft und eine in der fünften Linsengruppe (G5) angeordnete Blende (AP), wobei die dritte Linsengruppe (G3) einen ersten Meniskus und einen zweiten Meniskus aufweist, die beide positive Brechkraft aufweisen, und deren konkave Seite jeweils auf das erste Objekt (R) ausgerichtet ist, sowie einen dritten Meniskus und einen vierten Meniskus aufweisen, die jeweils eine positive Brechkraft aufweisen und deren konkave Seite jeweils auf das zweite Objekt (W) ausgerichtet ist, wobei wenigstens ein Linsenelement mit dem maximalen effektiven Durchmesser der dritten Linsengruppe (G3) zwischen dem ersten Meniskus und dem vierten Meniskus angeordnet ist.  
 12. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 11, wobei die Linsenelemente der dritten Linsengruppe (G3) folgende Bedingungen erfüllen:  

$$|\sin(\beta)| < 0,5$$
  

$$|(\alpha - \beta)/(\alpha - \gamma)| < 1,5,$$
  
 wobei  
 $\alpha$  wenigstens einer der Einfallswinkel des Hauptstrahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems auf dem ersten Objekt (R) zugewandten linken Fläche des Linsenelementes sowie ein Ausfallswinkel des Hauptstrahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems auf der dem zweiten Objekt (W) zugewandten Linsenfläche des Linsenelementes ist,  
 $\beta$  wenigstens einer der Einfallswinkel des unteren meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems auf der dem ersten Objekt (R) zugewandten Linsenfläche des ersten Linsenelementes sowie ein Ausfallswinkel des unteren meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems auf der dem zweiten Objekt (W) zugewandten Linsenfläche des Linsenelementes ist, und  
 $\lambda$  wenigstens ein Einfallswinkel eines oberen meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems auf der dem ersten Objekt (R) zugewandten Linsenfläche des Linsenelementes sowie ein Ausfallswinkel des oberen meridionalen Strahls entsprechend der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems auf der dem zweiten Objekt (W) zugewandten Linsenfläche des Linsenelementes ist.  
 13. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 11, wobei die fünfte Linsengruppe (G5) eine erste Linsendublette mit Luftspalt und eine zweite Linsendublette mit Luftspalt aufweist, die jeweils positive Linsenelemente und negative Linsenelemente aufweisen, wobei die erste Linsendublette mit Luftspalt und die zweite Linsendublette mit Luftspalt auf der Seite der Blende (AP) angeordnet sind, die näher am zweiten Objekt (W) ist, und wobei wenigstens ein positives Linsenelement und/oder ein negatives Linsenelement der ersten Linsendublette mit Luftspalt bzw. der zweiten Linsendublette mit Luftspalt den maximalen effektiven Durchmesser innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) aufweist.  
 14. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 12, wobei die fünfte Linsengruppe (G5) eine erste Linsendublette mit Luftspalt und eine zweite Linsendublette mit Luftspalt aufweist, die jeweils positive Linsenele-

- mente sowie negative Linsenelemente aufweisen, wobei die erste Linsendublette mit Luftspalt und die zweite Linsendublette mit Luftspalt auf der Seite der Blende (AP) angeordnet sind, die näher am zweiten Objekt (W) ist, und wobei wenigstens eines der positiven Linsenelemente und/oder eines der negativen Linsenelemente der ersten Linsendublette mit Luftspalt bzw. der zweiten Linsendublette mit Luftspalt den maximalen effektiven Durchmesser innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) aufweist. 5
15. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 11, wobei der erste Meniskus der dritten Linsengruppe (G3) von den Linsen der dritten Linsengruppe (G3) am nächsten am ersten Objekt (R) angeordnet ist und der vierte Meniskus hinter den Linsen der dritten Linsengruppe (G3) am nächsten am zweiten Objekt (W) angeordnet ist.
16. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 15, wobei die dritte Linsengruppe (G3) positive Linsenelemente aufweist. 10
17. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 11, das einen Objektivtubus (LB) aufweist, der eine Mehrzahl von Halterungen (H1, H2, H3, H4, H5) aufweist, die die erste Linsengruppe (G1), die zweite Linsengruppe (G2), die dritte Linsengruppe (G3), die vierte Linsengruppe (G4) und die fünfte Linsengruppe (G5) halten, wobei die Halterungen und der Objektivtubus (LB) aus dem gleichen Material sind. 15
18. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 11, das eine Mehrzahl von Objektivtuben aufweist, wobei die Objektivtuben die erste Linsengruppe (G1), die zweite Linsengruppe (G2), die dritte Linsengruppe (G3), die vierte Linsengruppe (G4) und die fünfte Linsengruppe (G5) halten, wobei die Objektivtuben entlang der optischen Achse des optischen Projektionssystems angeordnet sind.
19. Optisches Projektionssystem nach Anspruch 11, das zusammen mit der ersten Linsengruppe (G1), der zweiten Linsengruppe (G2), der dritten Linsengruppe (G3), der vierten Linsengruppe (G4) und der fünften Linsengruppe (G5) die folgenden Bedingungen erfüllt: 20
- $0,10 < f1/L < 0,25$
- $-0,09 < f2/L < -0,03$  25
- $0,05 < f3/L < 0,20$
- $-0,10 < f4/L < -0,02$  30
- $0,05 < f5/L < 0,20,$
- wobei
- f1 die Brennweite der ersten Linsengruppe (G1) ist, 35
- f2 die Brennweite der zweiten Linsengruppe (G2) ist,
- f3 die Brennweite der dritten Linsengruppe (G3) ist,
- f4 die Brennweite der vierten Linsengruppe (G4) ist,
- f5 die Brennweite der fünften Linsengruppe (G5) ist, und
- L der Abstand zwischen Objekt (R) und Bild ist. 40
20. Optisches Projektionssystem, das ein Bild eines ersten Objektes (R) auf ein zweites Objekt (W) projiziert, wobei das System in einer Reihenfolge beginnend auf der Seite des ersten Objektes (R) aufweist: eine erste Linsengruppe (G1) mit positiver Brechkraft, eine zweite Linsengruppe (G2) mit negativer Brechkraft, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Brechkraft, eine vierte Linsengruppe (G4) mit negativer Brechkraft, eine fünfte Linsengruppe (G5) mit positiver Brechkraft und eine innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) angeordnete Blende (AP), wobei die fünfte Linsengruppe (G5) eine erste Linsendublette mit Luftspalt und eine zweite Linsendublette mit Luftspalt aufweist, die jeweils positive Linsenelemente und negative Linsenelemente aufweisen, wobei die erste Linsendublette mit Luftspalt und die zweite Linsendublette mit Luftspalt auf der Seite der Blende (AP) angeordnet sind, die näher am zweiten Objekt (W) ist, und wobei wenigstens eines der positiven Linsenelemente und/oder der negativen Elemente der ersten Linsendublette bzw. der zweiten Linsendublette mit Luftspalt den maximalen effektiven Durchmesser innerhalb der fünften Linsengruppe (G5) aufweist. 45
21. Herstellungsverfahren für Halbleiterbauelemente zum Übertragen eines auf einer optischen Platte (R) ausgebildeten Musters auf ein lichtempfindliches Substrat (W) mit folgenden Schritten: 50
- Beleuchten des Musters auf der optischen Platte (R) mit einer Wellenlänge  $\lambda$  aufweisenden Lichtquelle derart, daß wenigstens ein Teil des Lichtes durch das auf der optischen Platte (R) ausgebildete Muster hindurchtritt;
- Leiten des durch die optische Platte (R) hindurchtretenden Lichtes auf ein optisches Projektionssystem, das die folgenden Bedingungen erfüllt: 60
- $|dSAp| < 0,3x\lambda/(NA)^2$
- und
- $|dCOMAp| < 0,3x\lambda/(NA);$  65
- Belichten des lichtempfindlichen Substrates (W) mit dem Licht, das ein Projektionsstrahlbündel mit einer numerischen Apertur von wenigstens 0,55 aufweist, und wobei

dSAp der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit maximaler numerischer Apertur des optischen Projektionssystems ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems um 30 mmHg geändert hat,

dCOMAp der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit maximaler numerischer Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich der Umgebungsdruck des optischen Projektionssystems um 30 mmHg geändert hat; und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems ist.

22. Herstellungsverfahren für Halbleiterbauelemente zum Übertragen eines auf einer optischen Platte (R) ausgebildeten Musters auf ein lichtempfindliches Substrat (W) mit folgenden Schritten:

Beleuchten des Musters auf der optischen Platte (R) mit einer Wellenlänge  $\lambda$  aufweisenden Lichtquelle derart, daß wenigstens ein Teil des Lichtes durch das auf der optischen Platte (R) ausgebildeten Musters hindurchtritt;

Leiten dieses Bereiches des Lichtes auf ein optisches Projektionssystem, das die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$|dSA_t| < 0,3x\lambda/(NA)^2$$

$$|dCOMA_t| < 0,3x\lambda/(NA)$$

$$|dM_t| < 0,2x\lambda/(NA)^2$$

$$|dY_t| < 0,05x\lambda/(NA)^2;$$

Belichten des lichtempfindlichen Substrates (W) mit diesem Licht, das ein Projektionslichtbündel mit einer numerischen Apertur von wenigstens 0,55 aufweist; und wobei

dSA<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der sphärischen Aberration des Strahls mit maximaler numerischer Apertur des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

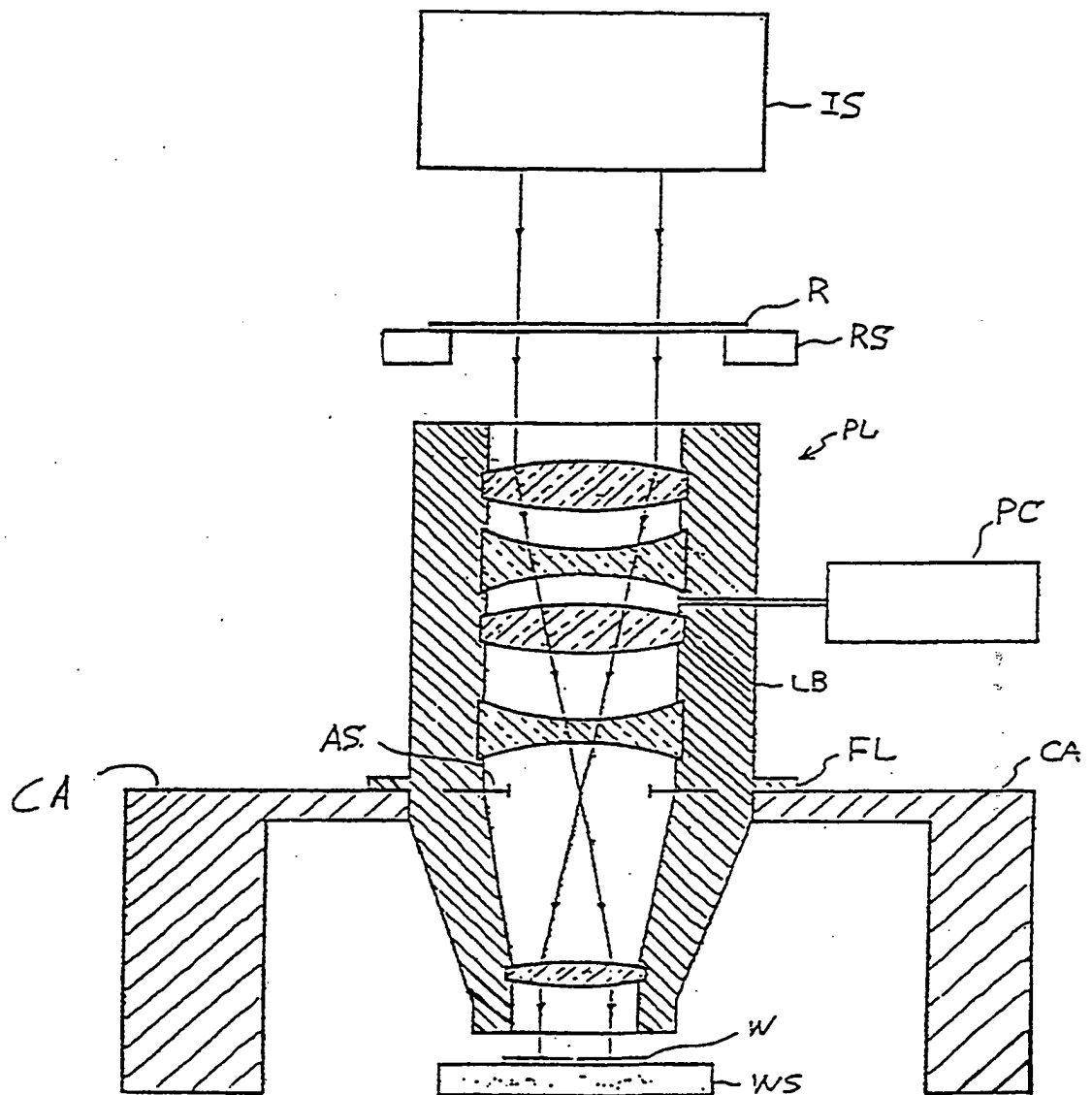
dCOMA<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Koma des Strahls mit maximaler numerischer Apertur bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

dM<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Feldkrümmung bei der maximalen Bildhöhe der optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat,

dY<sub>t</sub> der Betrag der Änderung der Bildhöhe bei der maximalen Bildhöhe des optischen Projektionssystems ist, wenn sich die Umgebungstemperatur des optischen Projektionssystems um 3°C geändert hat, und

NA die maximale numerische Apertur des optischen Projektionssystems ist.

Hierzu 22 Seite(n) Zeichnungen



*Fig. 1*



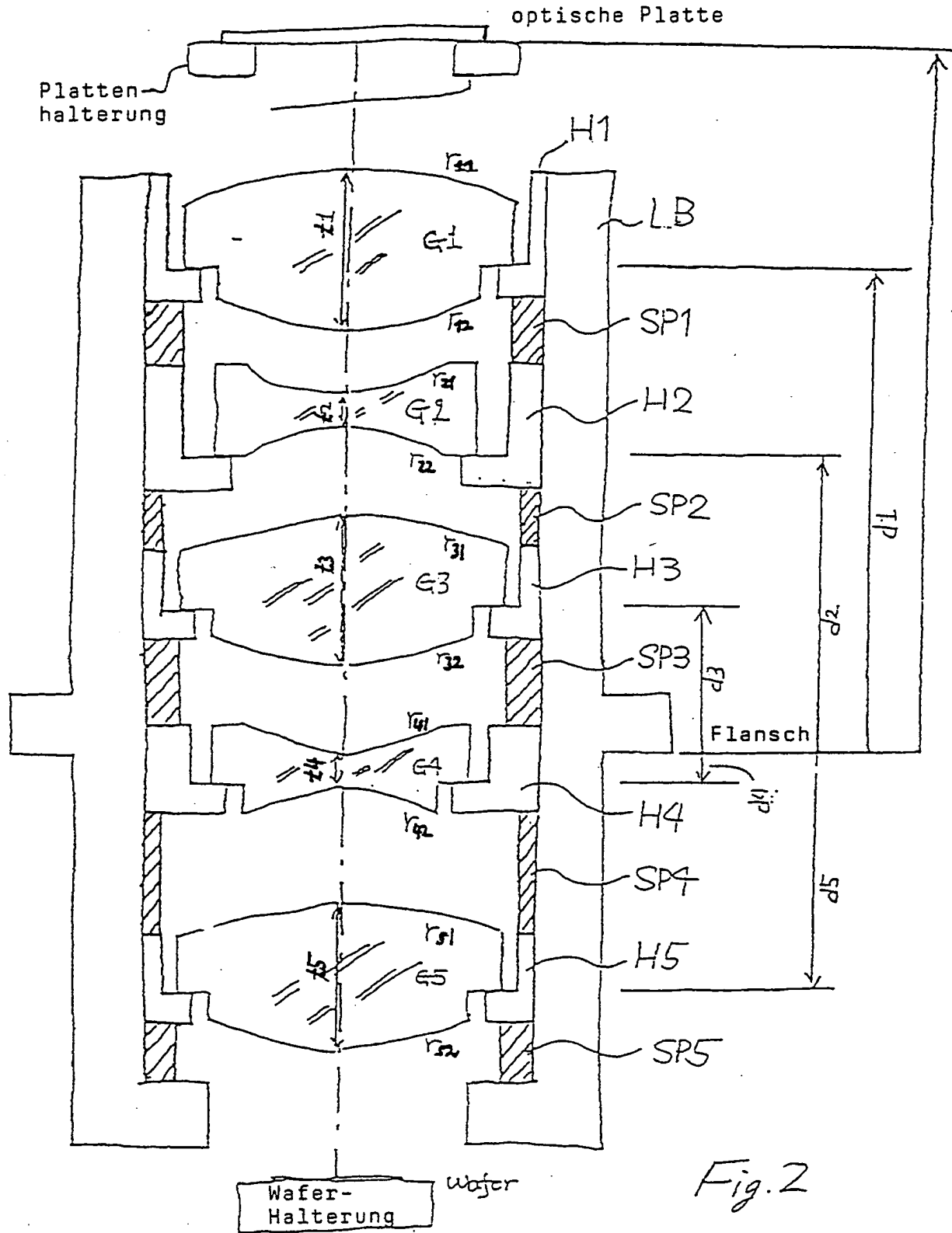
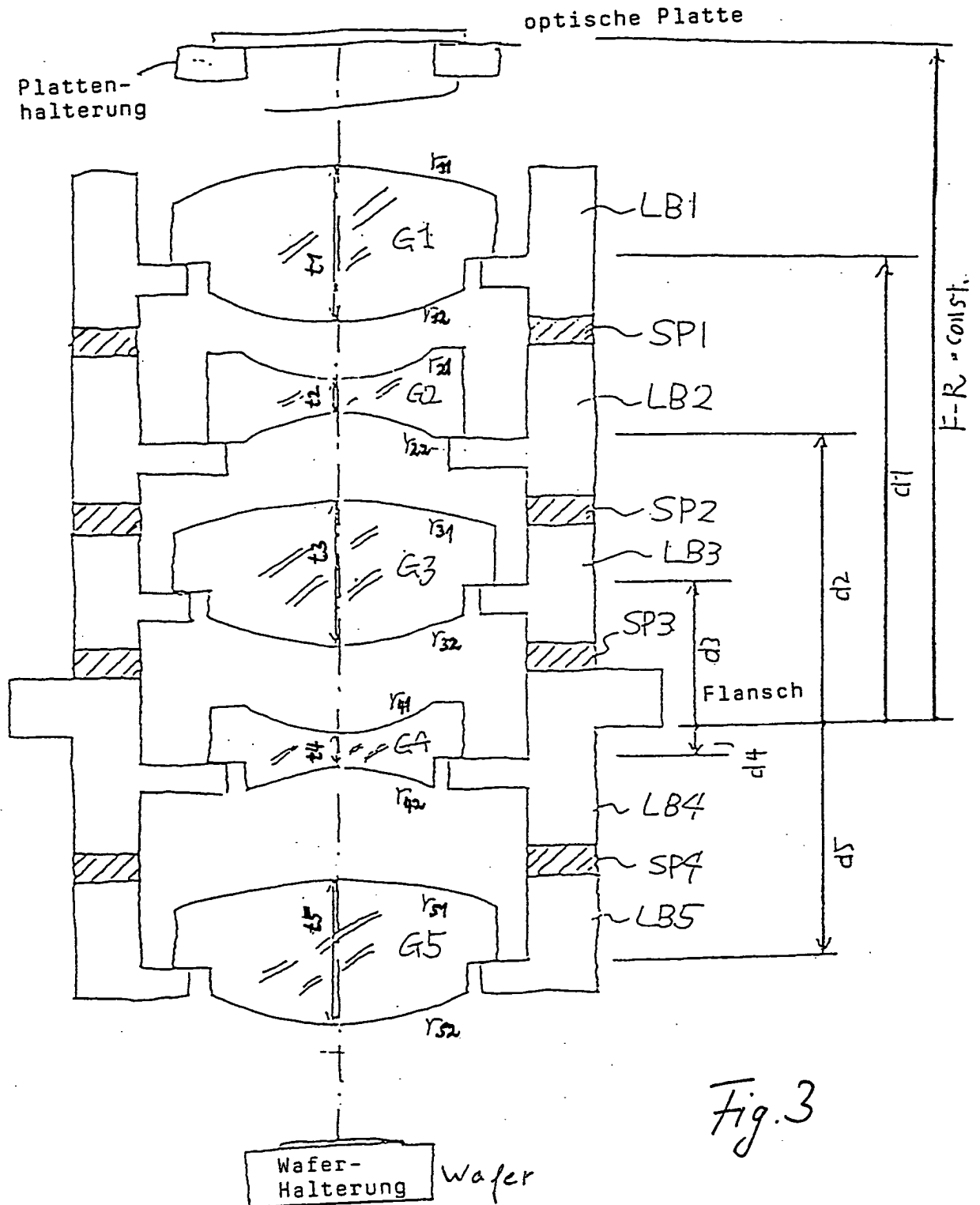


Fig. 2



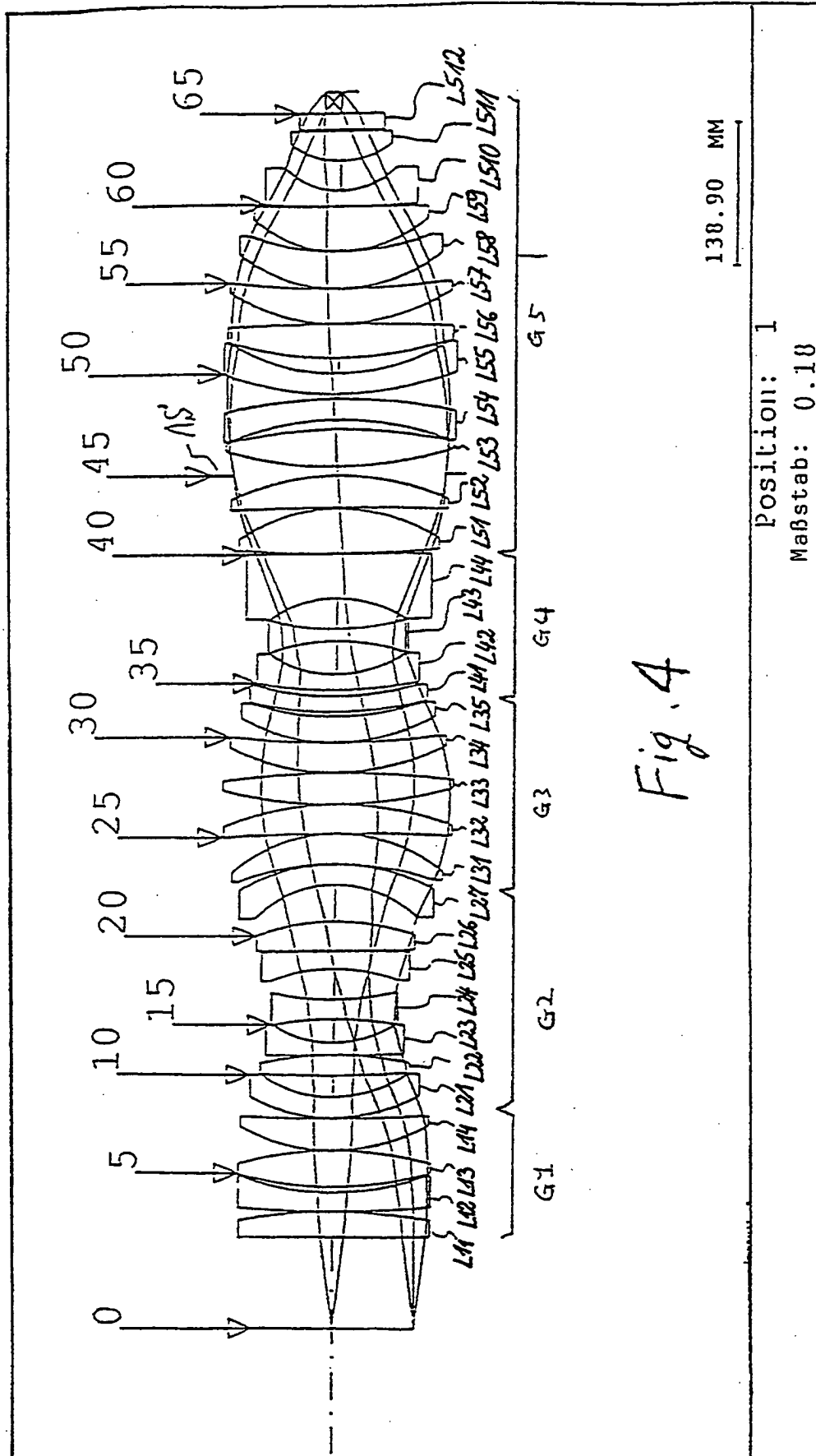


Fig. 4

Position: 1  
Maßstab: 0.18

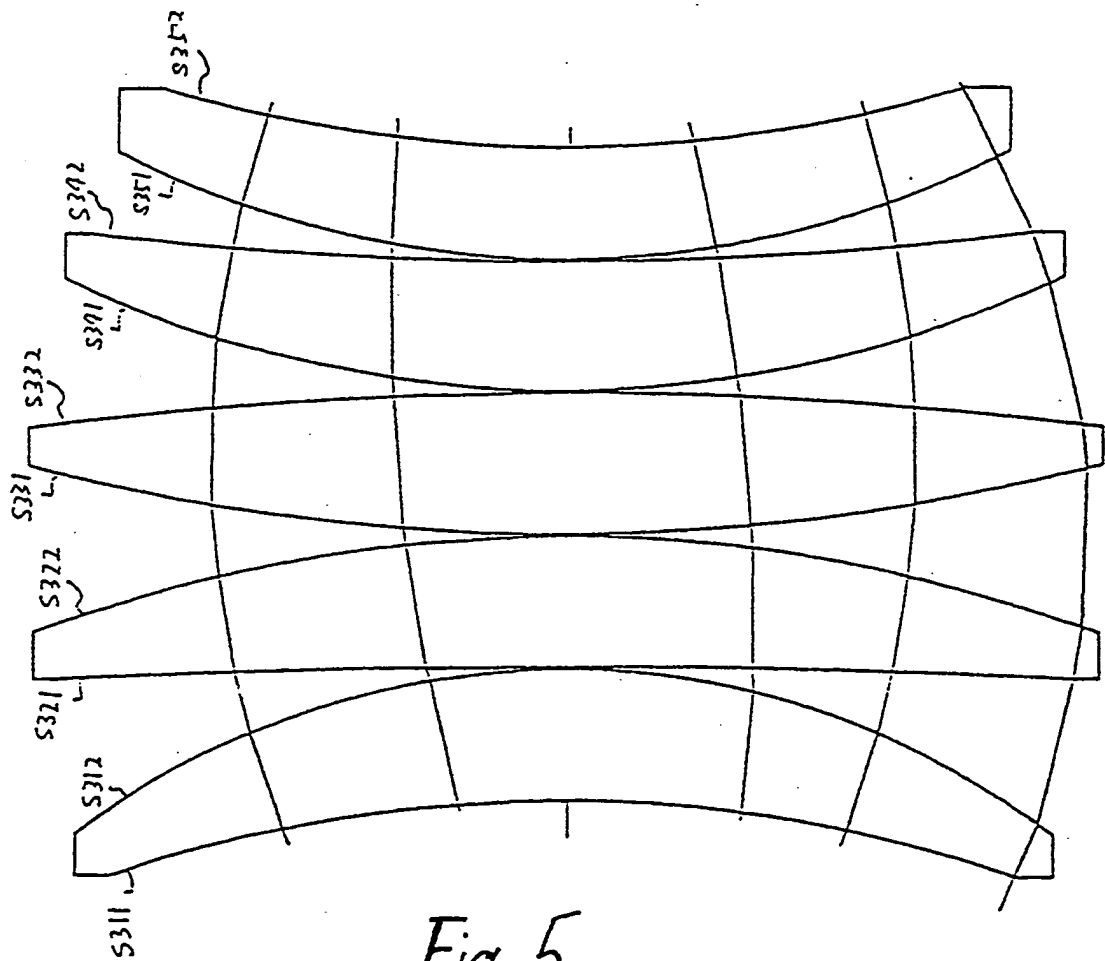


Fig. 5

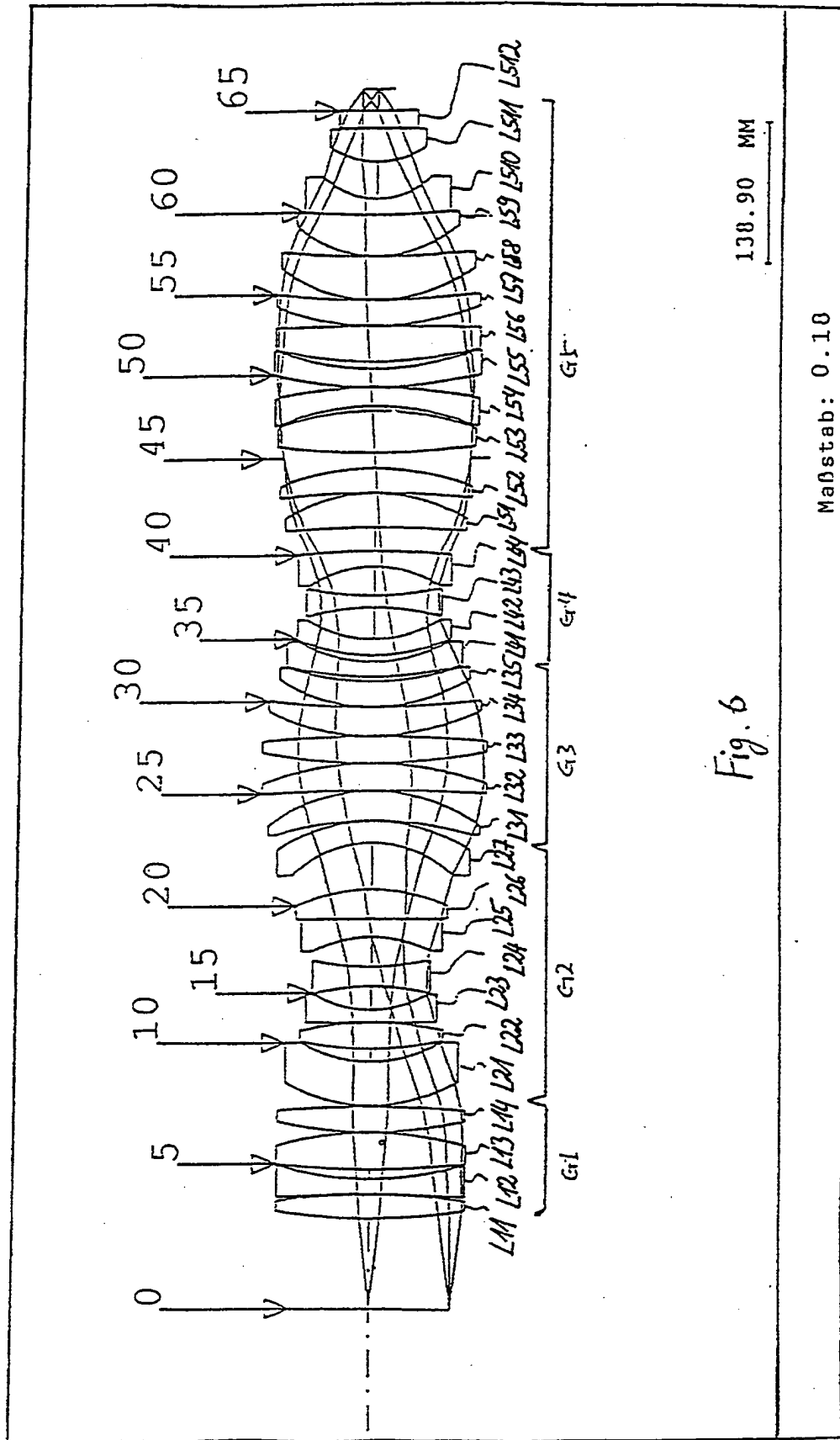
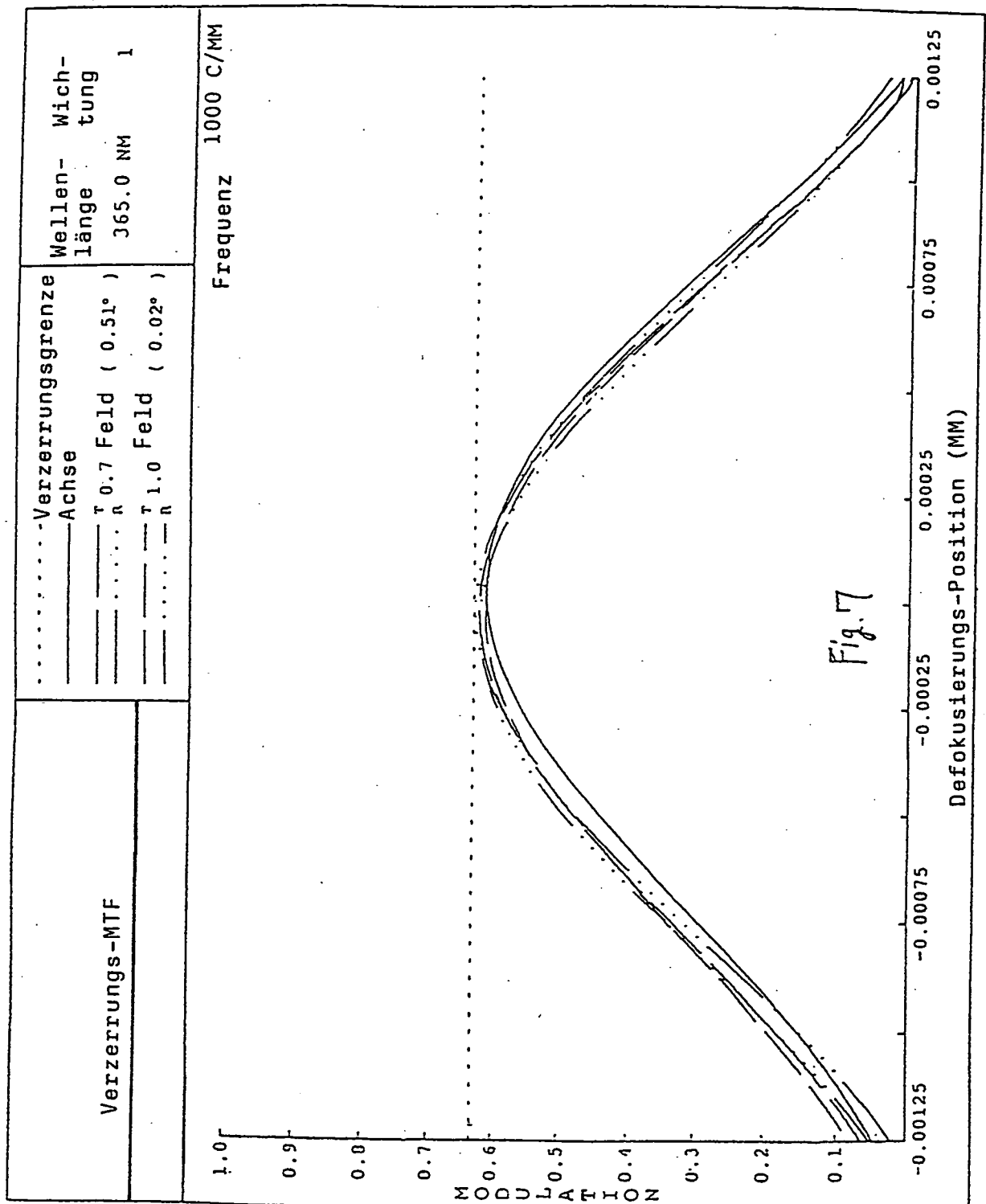
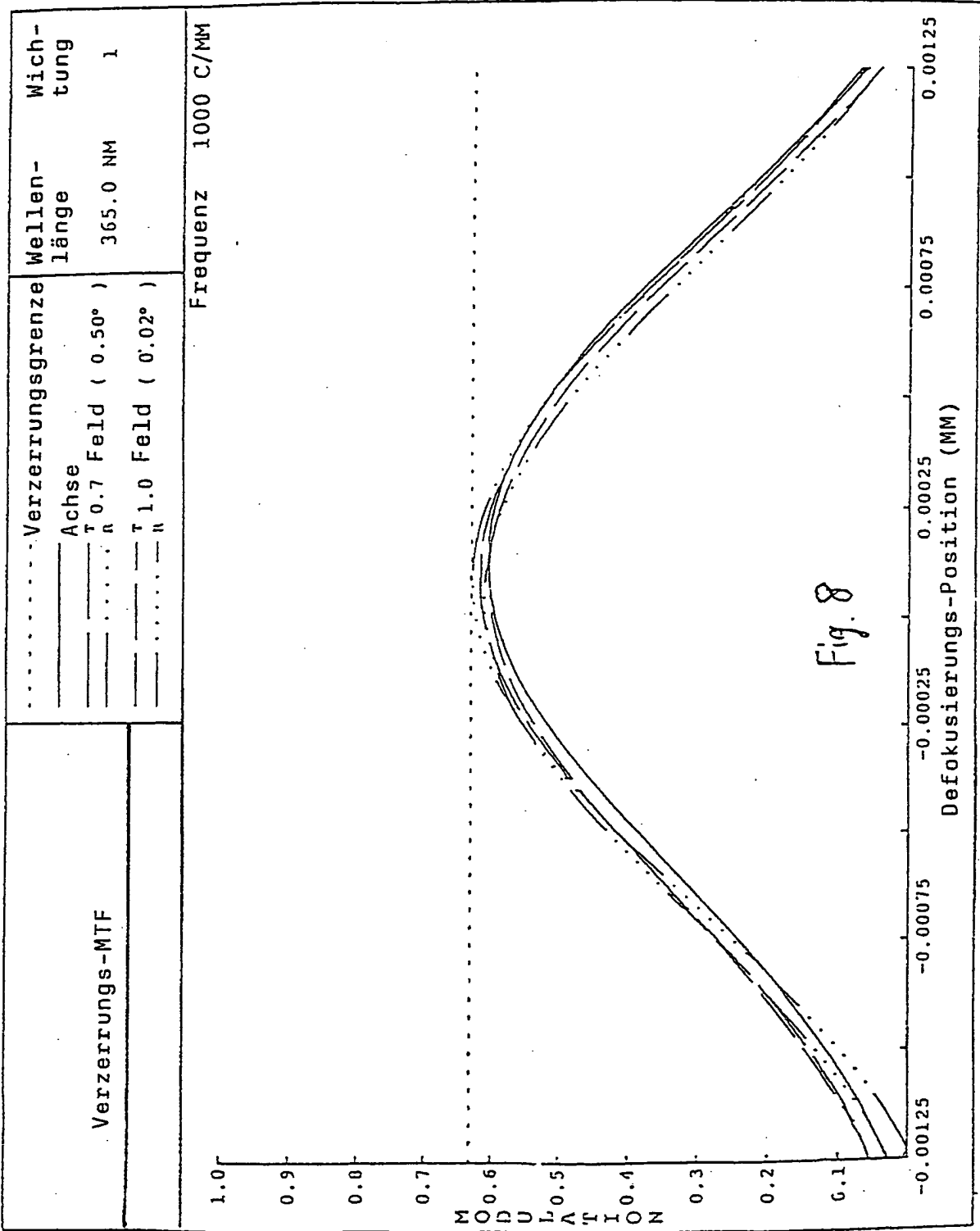


Fig. 6

138.90 mm

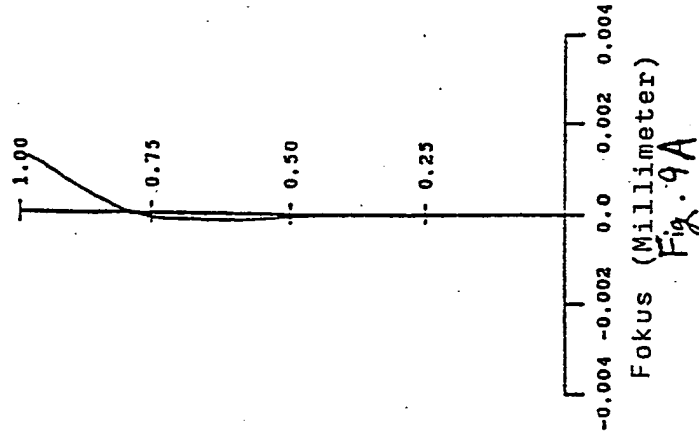
Maßstab: 0.10



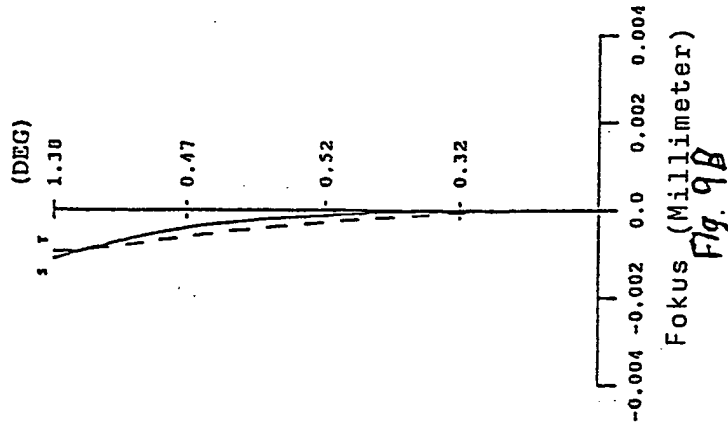




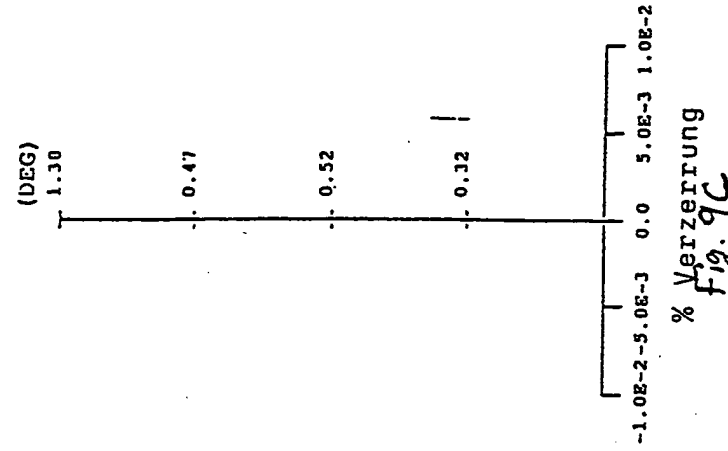
Longitudinale  
Sphärische  
Aberration



Astigmatismus  
Feld-Kurven

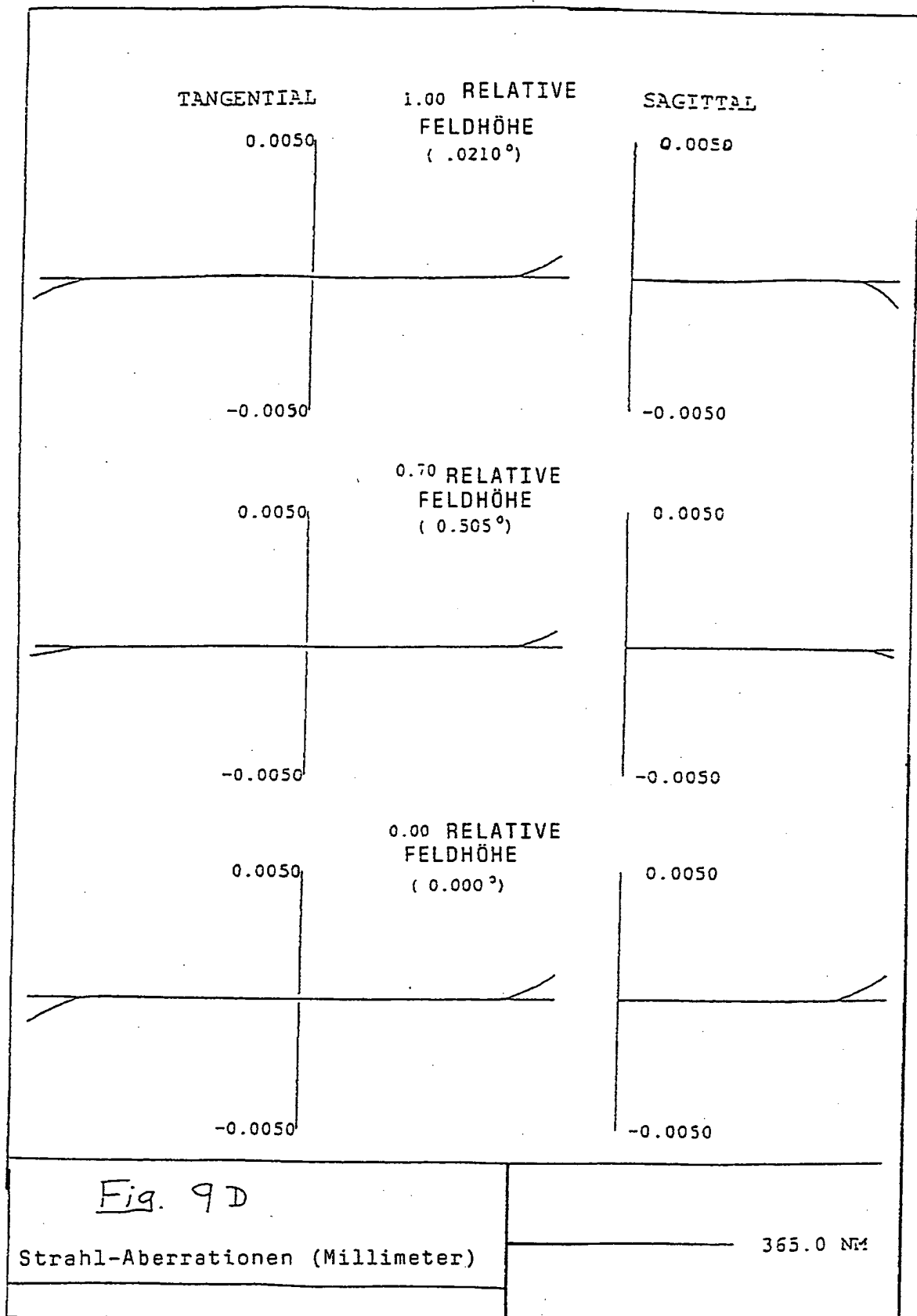


Verzerrung



% Verzerrung

TM



Longitudinale  
Sphärische  
Aberration

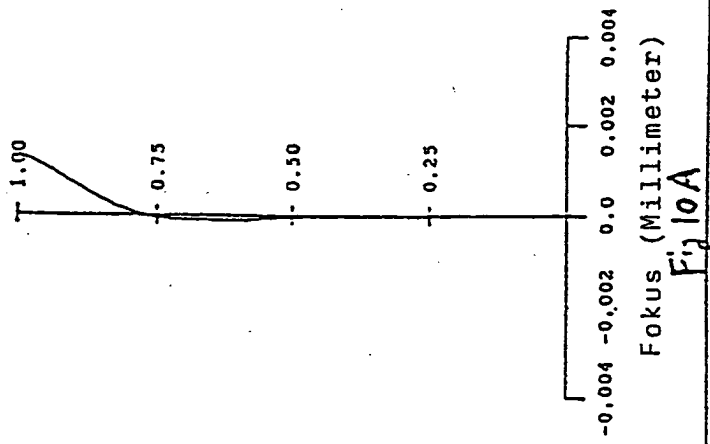


Fig. 10A

Astigmatismus  
Feld-Kurven  
(DEG)

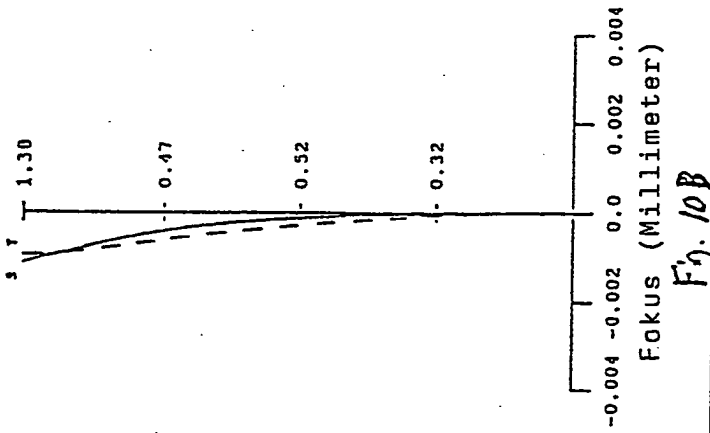


Fig. 10B

Verzerrung  
(DEG)

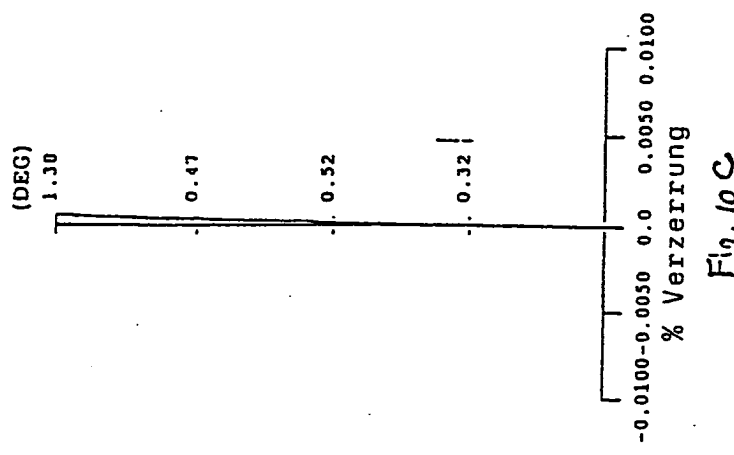
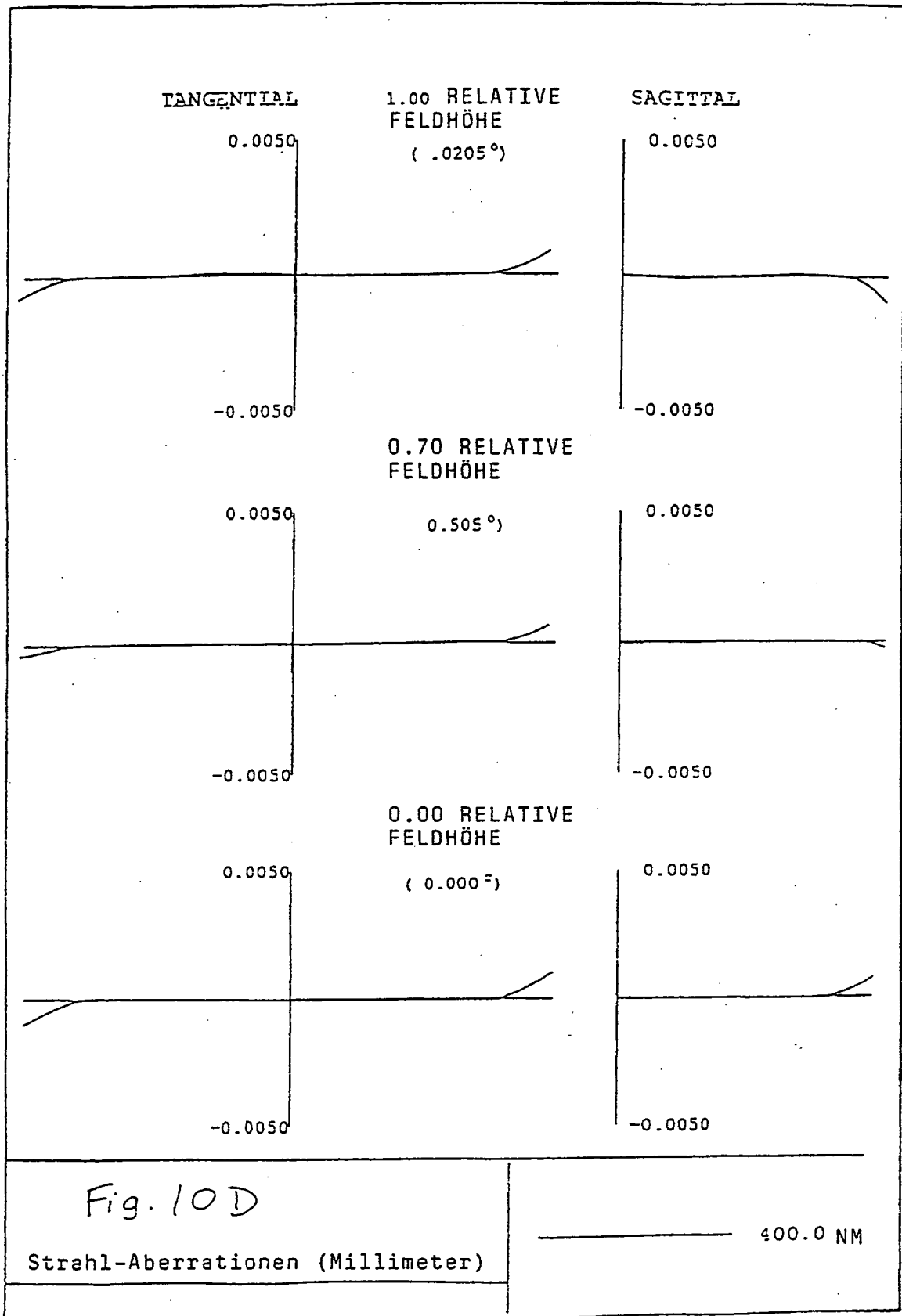


Fig. 10C



Longitudinale  
Sphärische  
Aberration

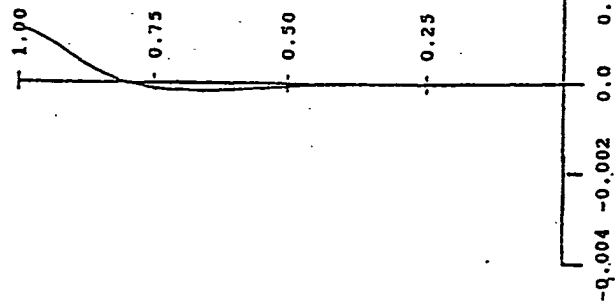


Fig. 11 A

Astigmatismus  
Feld-Kurven  
(DEG)

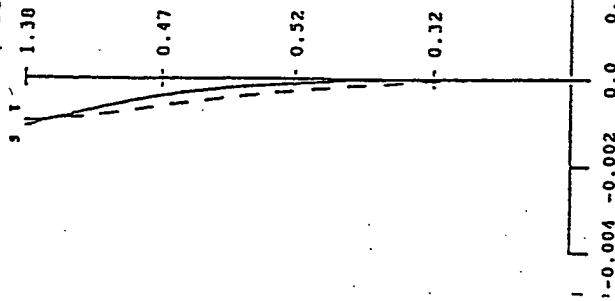


Fig. 11 B

Verzerrung

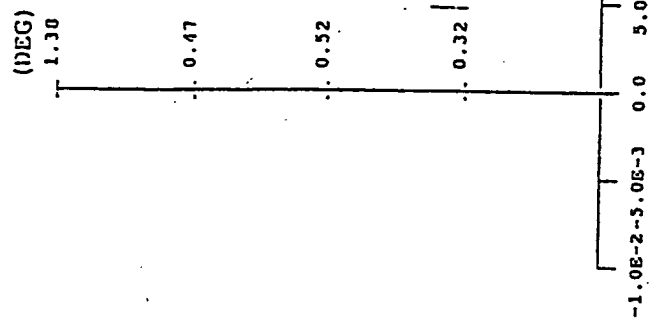
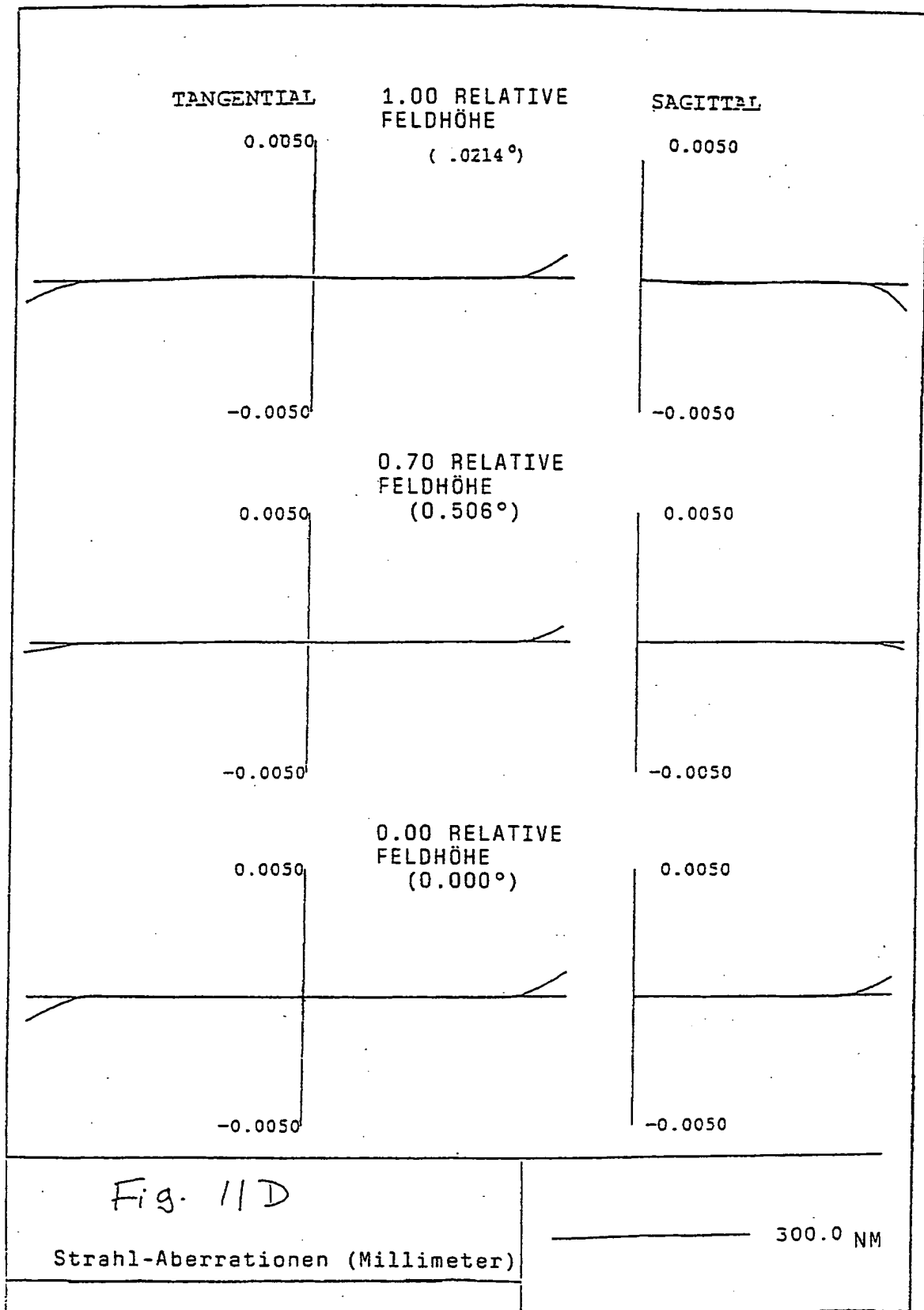
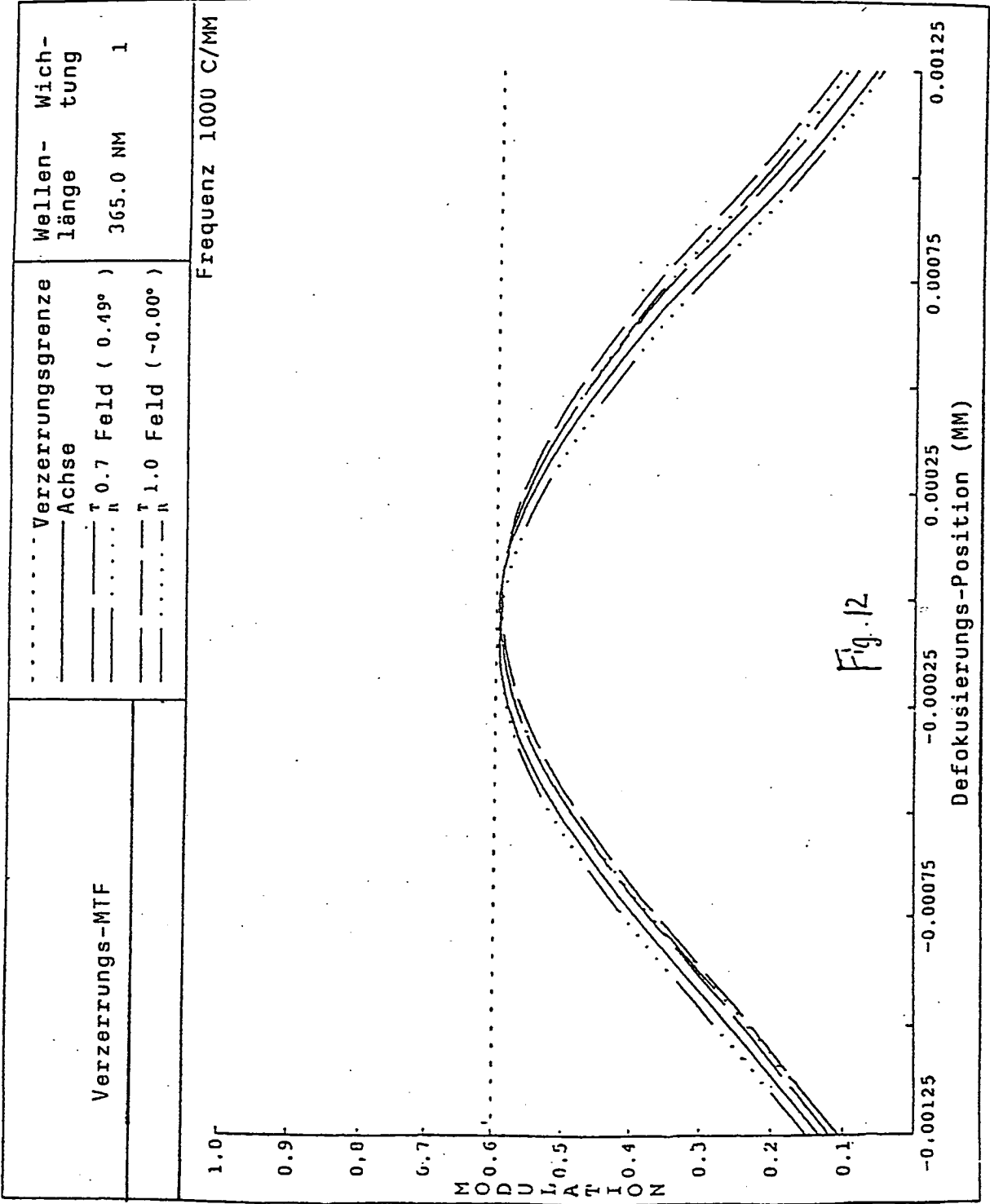


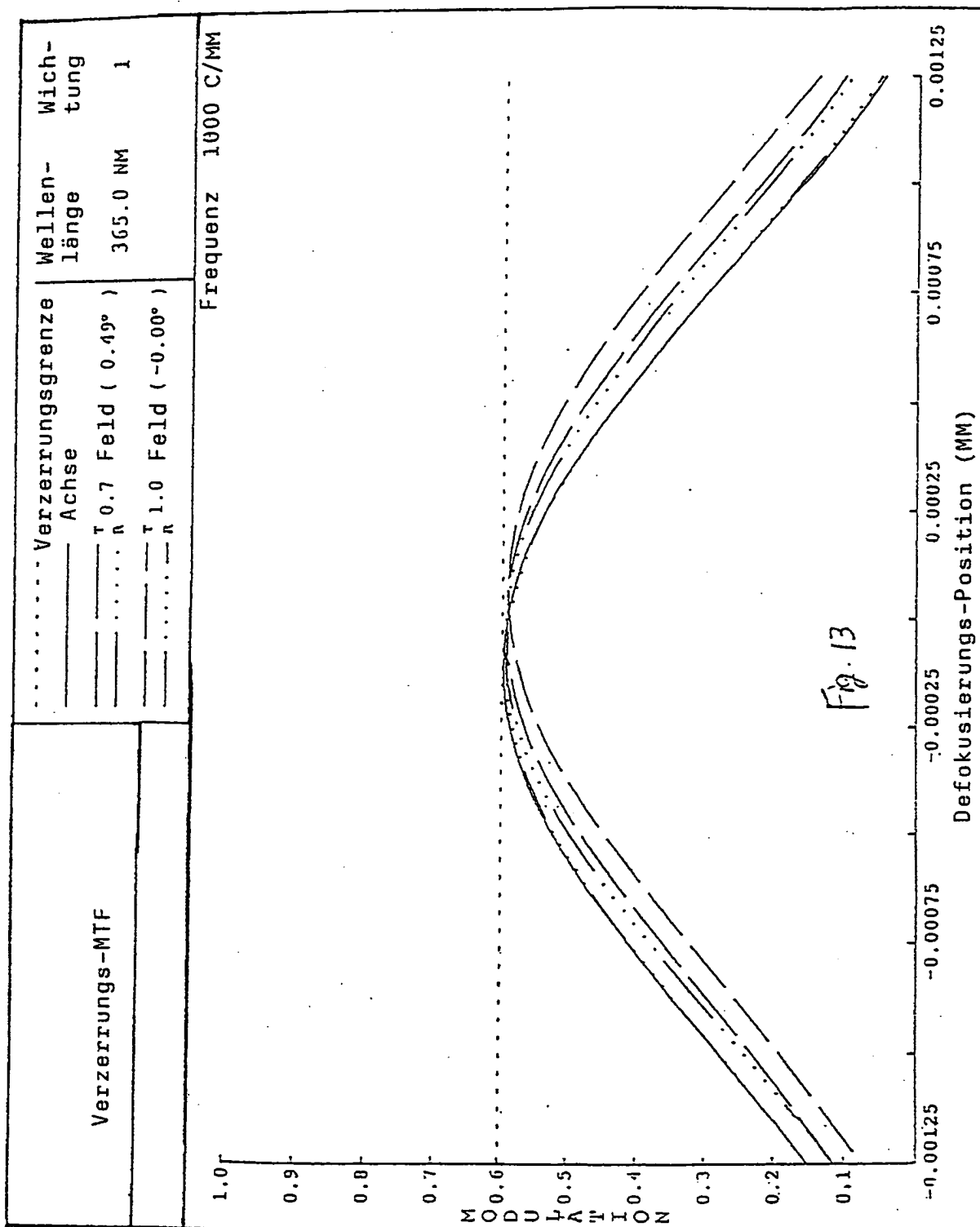
Fig. 11 C

% Verzerrung

-1.0E-2 -5.0E-3 0.0 5.0E-3 1.0E-2









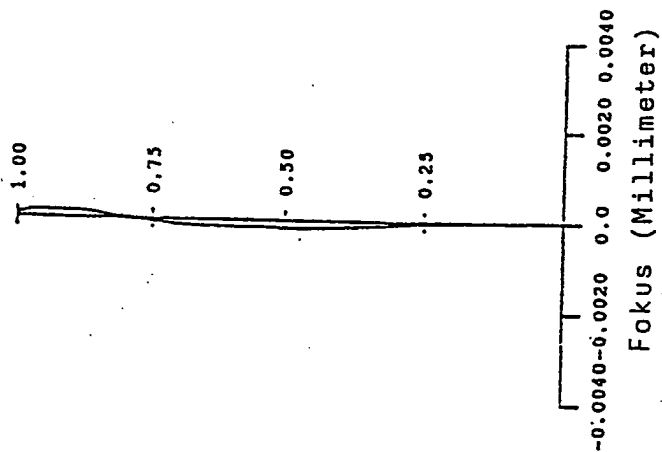
Longitudinale  
Sphärische  
Aberration

Fig. 14A

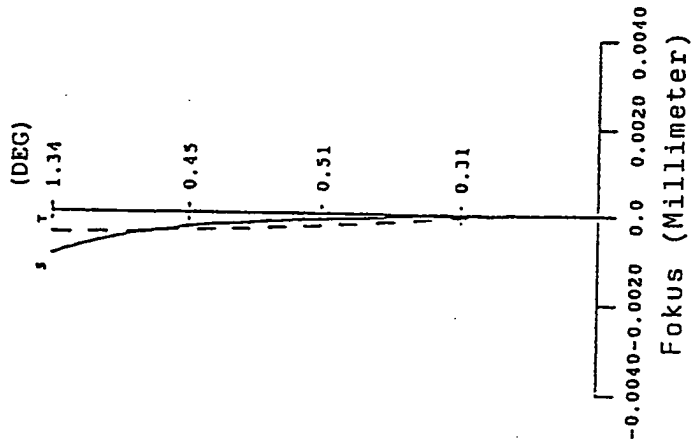
Astigmatismus  
Feld-Kurven

Fig. 14B

## Verzerrung

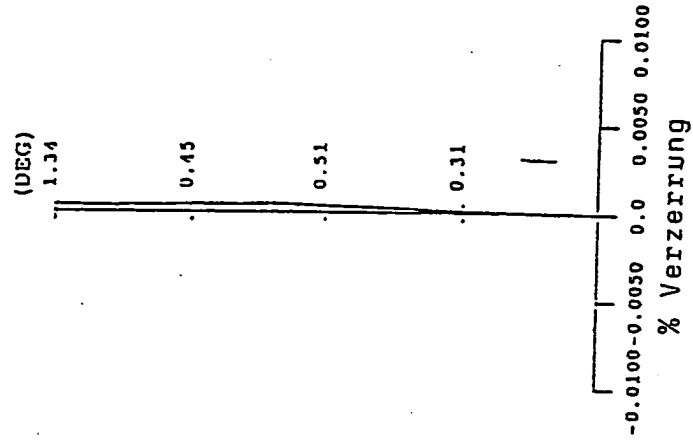


Fig. 14C

